

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

ANALÝZA KVÍLIVÉHO HLUKU OD TRAMVAJOVÉ DOPRAVY A JEHO VLIV NA OKOLÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

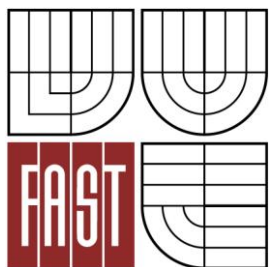
AUTHOR

TEREZA PROKOPOVÁ

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

ANALÝZA KVÍLIVÉHO HLUKU OD TRAMVAJOVÉ DOPRAVY A JEHO VLIV NA OKOLÍ

SQUEALING NOISE ANALYSIS FROM THE TRAM TRANSPORT AND ITS INFLUENCE ON THE ENVIRONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TEREZA PROKOPOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JAROSLAV SMUTNÝ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav železničních konstrukcí a staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tereza Prokopová
Název	Analýza kvílivého hluku od tramvajové dopravy
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

.....
doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- Digitální mapové podklady
- Příslušné ČSN
- Technické podmínky
- Vzorové listy
- Manuál k programu SoundPlan

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce je orientována na problematiku hodnocení účinků hluku od kolejové dopravy. Součástí práce bude rozbor dané problematiky, pořízení a úprava vstupních dat, sestavení akustického modelu v zadané lokalitě, simulace akustické situace v programu SoundPlan a posouzení získaných výsledků. Rovněž se předpokládá, že studentka formuluje závěry a doporučení pro praxi.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

Úvod

Rozbor dané problematiky

Rozbor vstupních dat

Popis sestaveného akustického modelu

Výsledky s výstupem do hlukové mapy

Zhodnocení

Závěry a doporučení

.....
prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval (a) samostatně a že jsem uvedl (a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....
podpis autora
Tereza Prokopová

Bibliografická citace VŠKP

PROKOPOVÁ, Tereza. *Analýza kvilivého hluku od tramvajové dopravy a jeho vliv na okolí*. Brno, 2013. 44 s., 12 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D..

Poděkování

Chtěla bych poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Jaroslavu Smutnému, Ph.D., který mi svým přátelským přístupem a nezbytnými odbornými znalostmi pomohl k zvládnutí této bakalářské práce. Také mu děkuji za pomoc při přípravě místa pro měření i měření samotném.

„Děkuji“

Autor

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou hodnocení účinků hluku od kolejové dopravy. Součástí této práce je rozbor dané problematiky, pořízení dat v lokalitě Starý Lískovec tramvajová smyčka a následná úprava dat a sestavení akustického modelu. Posouzení výsledků provedu sestavením akustické situace v programu SoundPlan. Součástí mé bakalářské práce je formulace závěrů a doporučení pro praxi.

Klíčová slova

tramvajová doprava, kvílivý hluk, ekvivalentní hladina hluku, modelování hluku, SoundPlan,

Abstract

Bachelor's thesis is focused on issues with evaluations of the effects of noises from tram transport. The part of the thesis is analysis of those issues, acquisition of data in locality Starý Lískovec tram loop; follow editing data and compilation of acoustic model. I'll do the assessment results by compilation of acoustic situation in program SoundPlan. Last part of bachelor's thesis is formulation of conclusions and recommendations for practice.

Keywords

Urban railway (streetcar) transport, squealing noise, equivalent noise level, noise modeling, SoundPlan

Obsah

1. Úvod.....	3
2. Cíle práce.....	3
3. Hluk obecně.....	3
3.1 Zvuk.....	3
3.2 Hluk.....	4
3.3 Akustický tlak.....	4
3.4 Hladina akustického tlaku	5
3.5 Hladina akustické intenzity	5
3.6 Ekvivalentní hladina hluku.....	7
4. Nepříznivé zdravotní účinky hluku.....	8
4.1 Poškození sluchového aparátu.....	8
4.2 Vliv na kardiovaskulární systém	8
4.3 Poruchy spánku	9
4.4 Zhoršení komunikace řeči	9
4.5 Obtěžování hlukem.....	9
5. Zdroje hluku od tramvajové dopravy.....	9
5.1 Hluk od hnací jednotky	9
5.2 Hluk aerodynamický	9
5.3 Hluk vznikající na styku kola a kolejnic	10
5.3.1 Valivý hluk.....	10
5.3.2 Impaktní hluk	10
5.3.3 Kvílivý hluk	11
6. Metody snížení intenzity hluku v tramvajové dopravě.....	12
6.1 Pravidelné udržování dobrého stavu kolejnic	12
6.2 Použitím bokovnic.....	13
6.3 Pryží odpružená kola	14
6.4 Kompozitní tlumiče.....	16
6.5 Protihlukové stěny.....	16

7. Měření kvilivého hluku od tramvajové dopravy	17
7.1 Výběr lokality	17
7.2 Použité přístroje při měření	18
7.3 Postup měření	20
7.4 Zpracování naměřených dat	24
8. Tvorba akustického modelu v programu SoundPlan	32
8.1 Příprava podkladů pro tvorbu akustického modelu	32
8.1.1 Polohopis	32
8.1.2 Výškopis	33
8.1.3 Intenzita provozu	33
8.2 Popis sestavení akustického modelu	33
8.2.1 Tvorba situace v Geodatabázi	34
8.2.2 Výpočet ekvivalentních hladin hluku	36
8.2.3 Tabulka výsledků	38
8.2.4 Grafika	38
9. Závěr a doporučení	39
10. Literatura	41
11. Seznam Příloh	43
12. Seznam použitých zkratk	44

1. Úvod

Člověk potřebuje zvuk jako projev řeči, projev životní aktivity a také jako výstražný podnět. Zvukové prostředí je podstatnou součástí životního prostředí. S přibývajícím dopravním provozem osob a přepravou materiálů, je velmi důležité, se zabývat také hlukem od dopravy. S ohledem na tento hluk bychom tedy měli navrhovat co nejšetrnější dopravní infrastruktury a také dopravní prostředky.

2. Cíle práce

Cíle mé práce jsou analýza akustických poměrů ve vhodně vybrané lokalitě, ve které vzniká kvilivý hluk. K dalším cílům náleží sestavení akustických modelů a aplikace modelů v programu SoundPlan. Tyto výsledky porovnáám s výsledky reálného měření, přepočteném na hodnoty za den a noc. Na závěr porovnat výsledky z reálného měření a z modelů programu SoundPlan, vyvodit z toho závěry a následná doporučení pro realitu.

3. Hluk obecně

3.1 Zvuk

Zvuk je definován jako mechanické vlnění molekul v látkovém prostředí. Většinou se vyjadřuje ve frekvenčním pásmu cca od 16 Hz až 20 kHz, což je pásmo slyšitelné lidským uchem. Zvuk, který má nižší frekvenci než 20 Hz se nazývá infrazvukem, zvuk, který má frekvenci vyšší než 20 kHz se nazývá ultrazvukem. Zvuk se šíří v libovolném prostředí (kromě vakua), které má setrvačné vlastnosti a je pružné. Šíří-li se zvuk vzduchem nebo kapalinami vzniká tzv. podélné vlnění. Při podélném vlnění vznikají místa zhušťování a zředování částic prostředí. Tato místa jsou od sebe vzdálena o vlnovou délku λ . Zvuk se také může šířit pevnými látkami, kde vzniká také vlnění příčné. Jestliže mechanické vlnění má sinusový průběh, jedná se o jednoduchý zvuk, v opačném případě se jedná o složený zvuk [17].

3.2 Hluk

Hluk jako takový nemá pevnou definici, ale označujeme jej jako nežádoucí zvuk, jenž vyvolává nepříjemné pocity. Hluk může mít i další škodlivé účinky na lidský organismus.

Zdroje hluku rozdělujeme podle rozměrů a situování v prostoru na bodové, plošné a liniové. Bodový zdroj je takový, jehož rozměry jsou výrazně menší, než vlnová délka vysílaná zdrojem do okolního prostoru. Bodový zdroj šíří zvuk v kulových vlnoplochách. Plošnými či bodovými zdroji hluku jsou například provozovny, technická zařízení (výtahy, apod.). Plošné zdroje šíří zvukové vlny v podobě rovinných vlnoploch. Liniové zdroje hluku (někdy též přímkové) jsou takové, které šíří zvukové vlny ve válcových vlnoplochách. Obecně jsou liniové hluky, hluky od dopravy [9], [17].

3.3 Akustický tlak

Akustický tlak je projevem akustické energie v místě působení. Postupující zvuková vlna je vyvolána kladnými a zápornými odchylkami od hodnot tlaku atmosferického. Celkový tlak v čase sestává z tlaku statického atmosferického p_a a okamžité změny tlaku p_o . Akustický tlak je skalární, nesměrovou veličinou a jeho jednotkou je Pa [9], [17].

Nejslabší zvuk, který je lidské ucho schopno postřehnout je zvuk o frekvenci $f \cong 1\text{kHz}$. Nejmenší změna tlaku, kterou jsme schopni zaznamenat je $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$. Jedná se o *práh slyšitelnosti*. Je to natolik malá změna, že vyvolává vychýlení membrány sluchového orgánu o hodnotu menší, než je průměr molekuly vodíku. Změna tlaku, která způsobuje bolest ve sluchovém orgánu má velikost $p = 200 \text{ Pa}$ a nazývá se *práh bolesti* [17].

Hodnoty akustického tlaku se uvádějí v pascalech. Z důvodu velkého rozsahu hodnot akustických tlaků, je výhodné používat logarytmické jednotky a definovat pojem hladina hluku.

3.4 Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku je dvacetinásobkem logaritmického poměru určitého akustického tlaku k referenčnímu akustickému tlaku:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \dots\dots\dots(1)$$

kde je p sledovaný akustický tlak (efektivní hodnota) [Pa]
 p_0 $p_0=2 \cdot 10^{-5}$ Pa ...referenční akustický tlak

Tato hladina charakterizuje schopnost hluku vyzařovat zvukovou energii. Pokud zdvojnásobíme hodnotu akustického tlaku, dojde ke zvýšení hodnoty akustické hladiny tlaku o 6 dB. To však nestačí, abychom dosáhli dvojnásobně silného subjektivního sluchového vjemu. K tomu je nutné zvýšit hodnotu hladiny akustické intenzity o 10 dB. Rozdíl hladin cca 2–3 dB je nejnižší změna, kterou je lidské ucho schopno zaznamenat [17].

3.5 Hladina akustické intenzity

Hladina akustické intenzity vyjadřuje rozdíl, o který převyšuje logaritmická hodnota dané intenzity I logaritmus intenzity prahu slyšitelnosti I_0 :

$$L_I = \log I - \log I_0 = \log \frac{I}{I_0} \dots\dots\dots(2)$$

Kde L_I je hladina akustické intenzity.
 I Intenzita hluku
 I_0 Intenzita prahu slyšitelnosti

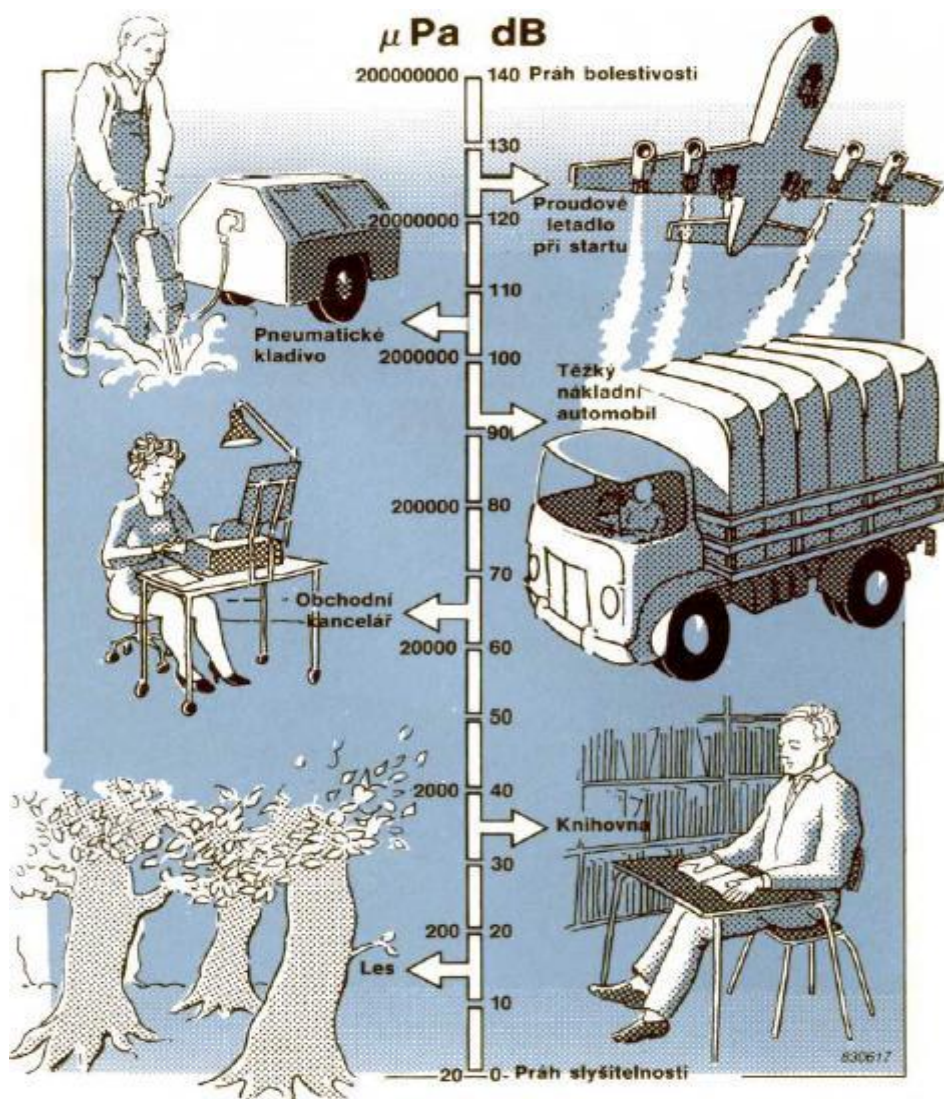
Hladina hluku A je definována jako hladina akustického tlaku frekvenčně váženého filtrem A [dB]. Hladina hluku slouží k jednočíselné klasifikaci hlučnosti [20], [22].

Z hladin akustického tlaku v oktávových nebo třetinooktávových pásmech je možné vypočítat hladinu akustického tlaku podle vztahu:

$$L_{pA} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi} - K_{Ai}}{10}} \dots\dots\dots(3)$$

kde L_{pi} je hladina akustického hluku v daném pásmu [dB]

K_{Ai} je korekce závislá na středním kmitočtu v oktávovém nebo třetinooktávovém pásmu, vážená filtrem A [dB].



Obr. 3.1: Některé hladiny akustického tlaku k určitým zdrojům hluku[17]

3.6 Ekvivalentní hladina hluku

Používá se pro charakterizování zvukových polí s časově proměnnou intenzitou. Vzhledem k fyziologickému hledisku tomu nejvíce vyhovuje energetická střední hodnota. Ekvivalentní hladina hluku zobecňuje nejen hladinu hluku, ale i jeho časové působení. Je to střední hodnota logaritmické sumy všech hladin hluku v měřeném intervalu a je dána vztahem:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \dots \dots \dots (4)$$

kde T dob
 p sledovaný akustický tlak (efektivní hodnota) [Pa]
 p₀ p₀ = 2 · 10⁻⁵ Pa ... referenční akustický tlak

Často se také užívají statistické hodnoty hluku, protože $L_{Aeq,T}$ ne vždy stačí na přehled o hlukové expozici v průběhu měření. Tyto hodnoty se určují z křivky relativní kumulativní četnosti. Většinou se určují tři hodnoty:

- L_{90} ... hladina základního hluku
- L_{50} ... střední hladina hluku
- L_{10} ... průměrná špičková hladina hluku

Statistické hladiny zvuku udávají hladinu [dB], které bylo v průběhu dosaženo a překročeno v procentech uvedených v dolním indexu celkového procentuálního počtu získaných výsledků.

Dalším energetickým parametrem, který se užívá při hodnocení hlukové zátěže je hladina hlukové expozice L_{AE} (SEL). Hladina hlukové expozice je definována, jako neproměnná hladina hluku, která působí jednu vteřinu a je rovna akustické energii zkoumaného hluku s proměnnou hladinou. Tento parametr je používán pro hodnocení krátkodobých hluků [17].

4. Nepříznivé zdravotní účinky hluku

Nepříznivé účinky hluku od tramvajové dopravy se projevují až po delší době jeho působení na lidský organismus. Nepříznivé účinky jsou ty, které mají vliv na morfologické nebo funkční změny organismu, které vedou ke zhoršení jeho funkcí [1].

Nepříznivé účinky můžeme rozdělit na orgánové účinky, rušení činnosti a vlivy na subjektivní pocity.

Dostatečně prokázanými nežádoucími účinku hluku jsou poškození sluchového aparátu, vliv na kardiovaskulární systém, nepříznivé působení na osvojování řeči a čtení u dětí, poruchy spánku a zvýšené užívání léků na spaní [1].

Působení hluku posuzujeme z hlediska ztížené komunikace řečí, obtěžování, pocitů nespokojenosti, rozmrzelosti a nepříznivého ovlivnění pohody lidí. Tyto vlivy zařazujeme na základě definice zdraví WHO, která říká, že zdraví není pouze absence choroby, ale je chápáno v celém kontextu souvisejících fyzických, psychických a sociálních aspektů [1].

4.1 Poškození sluchového aparátu

K poškození sluchového aparátu dochází při dlouhodobém až celoživotním působení hluku na sluchový aparát. Projevuje se zpočátku jako přechodné a posléze trvalé funkční a morfologické změny smyslových a nervových buněk Cortiho orgánu vnitřního ucha. Poškození sluchového aparátu je prokázáno u pracovní expozice hluku v závislosti na výši ekvivalentní hladiny akustického tlaku a trvání let expozice [1].

4.2 Vliv na kardiovaskulární systém

Akutní hluková expozice aktivuje autonomní nervový a hormonální systém. To vede k přechodným změnám jako zvýšení krevního tlaku a tepu. Po dlouhodobé expozici se mohou vyvinout trvalé účinky, jako je hypertenze a ischemická choroba srdeční. Dlouhodobé působení hluku může způsobit i infarkt myokardu [1].

4.3 Poruchy spánku

Působení hluku v době spánku se projevuje změnou tepové frekvence, známky probuzení na EEG, změny v trvání stádií spánku, zvýšená pohyblivost ve spánku, obtížné usínání, probuzení v noci nebo příliš brzy ráno a zkrácení spánkového času. Tyto poruchy po té mohou vést k již výše zmíněným srdečním problémům.

4.4 Zhoršení komunikace řeči

Hluk může překrývat jiné informačně důležité signály, jako například domovní zvonek či alarm. Vysoký hluk na pozadí donutí zvýšit hlasitost mluvího, což vede k hlasové únavě a ke ztrátě srozumitelnosti u posluchače.

4.5 Obtěžování hlukem

Jedná se o psychický stav, který vzniká při mimovolném vnímání vlivů, ke kterým má jedinec zamítavý postoj a na které reaguje pocity odporu nebo podrážděním.

5. Zdroje hluku od tramvajové dopravy

Zdroje hluku dělíme na: hluk od hnacích jednotek a jiných agregátů
hluk vznikající ve styku kola a kolejnice
hluk aerodynamický

5.1 Hluk od hnací jednotky

Výrazně vysoké hlukové emise jsou způsobeny nezávislou trakcí a tedy dieselovým agregátem. U tramvajové dopravy se však nachází elektrická trakce, jejíž zvukové emise jsou nižší. Hluk od hnací jednotky od tramvajové dopravy je dominantní do rychlosti $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a jeho intenzita není nijak vysoká.

5.2 Hluk aerodynamický

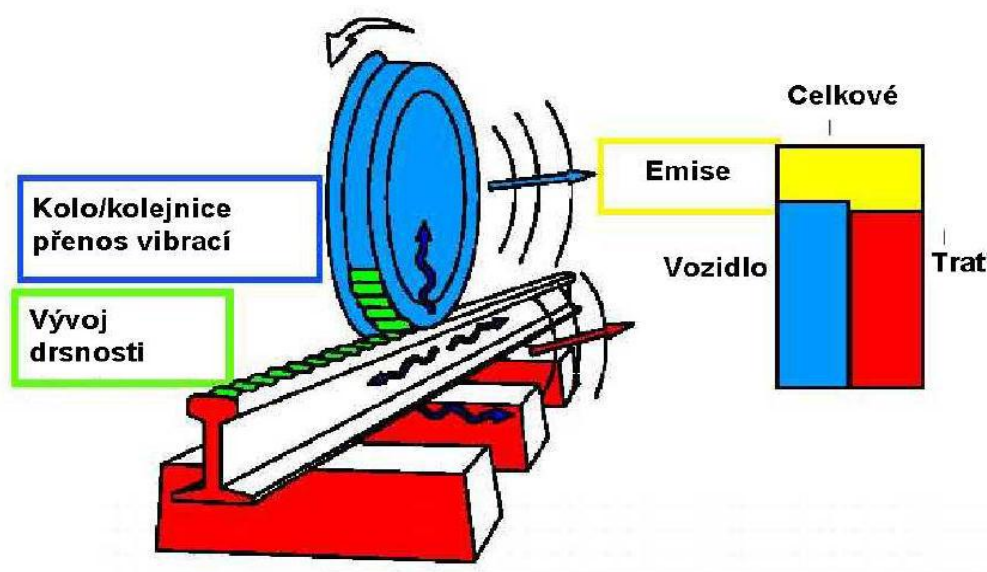
Aerodynamický hluk je dominantním při rychlostech nad 200 km/h . vzhledem k tomu, že je tato rychlost u tramvajové dopravy nereálná, aerodynamický hluk u ní tedy nevzniká, a proto se jím dále nebudeme zabývat.

5.3 Hluk vznikající na styku kola a kolejnic

5.3.1 Valivý hluk

Valivý hluk je převažující při rychlostech vyšších než 20 km.h^{-1} . Tento druh hluku vzniká interakcí nerovností na povrchu kolejnice a kola. Hlavním parametrem akustických emisí, které vznikají tím, že se kolo valí po kolejnici, je drsnost samotné kolejnice. Z tohoto důvodu je prvním důležitým krokem ke snížení hluku, udržování povrchy hlav kolejnic co nejhladší. Vznik vlnkovatosti kolejnic a mechanismus samotného vzniku vlnkovatosti doposud nebyl dostatečně prozkoumán, ale je jisté, že k němu dochází v místech, kde se vozidlo rozjíždí či brzdí a v blízkosti výměn a křížení. Dalším důležitým aspektem přispívajícím k valivému hluku je drsnost oběžných ploch dvojkolí. U vozů s kotoučovou brzdou jsou oběžné plochy kol hladší a příspěvek akustických emisí je tedy nižší [17].

Mechanismus vzniku valivého hluku znázorňuje obrázek (Obr. 5.1).



Obr. 5.1: Princip vzniku valivého hluku.[17]

5.3.2 Impaktní hluk

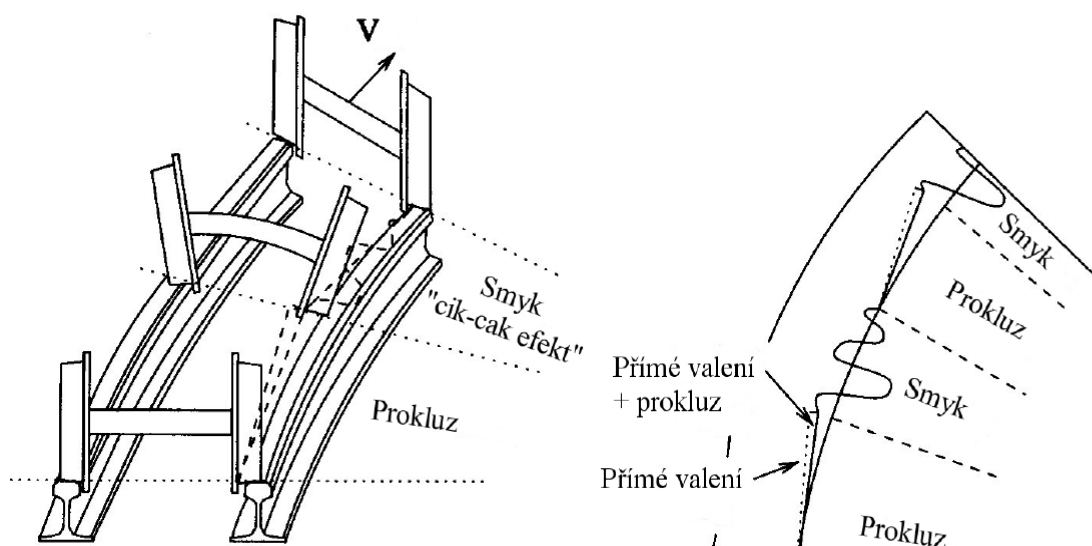
Impaktní hluk je takový, který způsobuje nejčastěji přechod dvojkolí přes styky, srdcovkové části výhybek nebo propadlé svary. Jedná se o rytmický hluk. V okamžiku, kdy dvojkolí přejíždí přes mezeru, či nerovnost, ztrácí kontakt s kolejnicí. Následný

kontakt s kolejnicí způsobuje náraz. Tyto nárazy způsobují hluk, který cestující vnímá jako rytmické za sebou jdoucí nárazy.

5.3.3 Kvílivý hluk

Jedná se o tónový hluk o velmi vysoké amplitudě. Je vyvoláván koly při průjezdu soupravy v obloucích malých poloměrů. Elastické kroucení osy soukolí je mírně redukováno podélným prokluzem kol. Tato deformace podélný prokluz probíhají tak dlouho, dokud se nepřekročí třecí síla. Jakmile je třecí síla překročena, tak se soukolí dostane do smykového pohybu tzv. „cik-cak efektu“ a následně se osa soukolí vyrovnává do původního stavu. Střídání těchto dvou sil působí na každé kolo v opačném směru. Za určitých podmínek střídání přímočarého prokluzu a příčného smyku na soukolí, toto soukolí rezonuje. Tyto vibrace budí akustické vlny tvořící kvílivý hluk [17]. Princip vzniku kvílivého hluku je znázorněn na obrázku (Obr. 5.2).

Další možností, jak vzniká kvílivý hluk, je podélné klouzání. Při průjezdu obloukem musí kolo jedoucí po vnější kolejnici překonat větší vzdálenost, než kolo jedoucí po vnitřní straně kolejnice, přičemž samotná vzdálenost mezi jednotlivými koly je neměnná. Při překonávání tohoto rozdílu v délce cesty je možné tím, že kolo začne podélně klouzat po samotné kolejnici.



Obr. 5.2 Princip vzniku kvílivého zvuku.[17]

6. Metody snížení intenzity hluku v tramvajové dopravě

Metody snižování hluku dělíme na dvě skupiny. Metody, které snižují hluk přímo u zdroje hluku. Do těchto metod patří pravidelné udržování dobrého stavu kolejnic a kol tramvajové soupravy, bokovnice, pryží odpružená kola a kompozitní tlumiče. Dalším typem metody snižování hluku je taková metoda, která má vytvořit překážku před zdrojem hluku a samotný zdroj takto zastínit [11], [17].

6.1 Pravidelné udržování dobrého stavu kolejnic

Pravidelným udržováním dobrého stavu kolejnic se zbavujeme vlnkovatosti tím, že provádíme pravidelné broušení pojížděné hlavy kolejnice (viz Obr. 6.1). Nejvíce nadměrného hluku způsobují tzv. krátké vlny, uvažované v pásmu do 300 mm. Z krátkých vln jsou to hlavně ty, jejichž vlnová délka je 30 až 90 mm a jejichž hloubka v extrémních případech může přesáhnout 0,2 mm a také skluzové vlny o délce 80 až 150 mm a hloubce vlny až do 0,8 mm. Oba druhy vlnkovatosti vznikají za provozu a nelze jim jakkoliv účinně předcházet, kromě již zmíněného pravidelného broušení kolejnic. Broušení u nás lze provádět několika druhy osvědčených strojů, které opracovávají pojížděnou plochu kolejnice, vibračním či rotačním broušením, frézováním nebo hoblováním. Už při zbroušení vlnek o hloubce 0,05 mm, dojde ke snížení hluku v okolí koleje až o 6 dB (A). Zbrousíme - li výraznější vlnky, můžeme dosáhnout snížení hluku v okolí koleje až o 12 dB (A) u frekvencí kolem 1500Hz.

Hladinu hluku může také ovlivnit kvalita geometrické polohy koleje v oblasti styků a svarů, typ upevnění kolejnic, úprava konstrukčních vrstev koleje, či kvalita kolejového lože. Tyto aspekty mohou snížit hluk tím, že minimalizují vzájemné pohyby jednotlivých součástí železničního svršku.

Pružnými pryžovými podložkami, které používáme u podkladnicového upevnění pod patu kolejnice, dojde ke snížení dynamických účinků od kolejové dopravy a tedy i ke snížení intenzity hluku. Ke snížení intenzity hluku přispívají také pružné svěrky a spony [11].

Hladinu hluku můžeme také ovlivnit udržováním dobrého stavu kol tramvajových souprav.



Obr. 6.1: Broušení kolejnic

6.2 Použitím bokovnic

Bokovnice jsou nejčastěji pryžové elementy, které pevně přiléhají ke stojině kolejnice. Bokovnice se umisťují z vnější i vnitřní strany kolejnice (viz Obr. 6.2). Slouží k zvýšení útlumu akustických vln. Stojina kolejnice má snahu vibrovat ve chvíli, kdy kolo pojíždí kolejnici, vibracemi stojiny vzniká hluk.

Před použitím bokovnic je třeba zajistit, aby nedocházelo ke vzniku vad na zakryté části kolejnice (otvory, svary, atd.). Jsou použitelné u všech známých konstrukcí svršku a jejich montáž je velmi snadná, lze je namontovat předem, nebo přímo za provozu. [19]



Obr. 6.2: Řez kolejnicí s přiloženými bokovnicemi. [19]

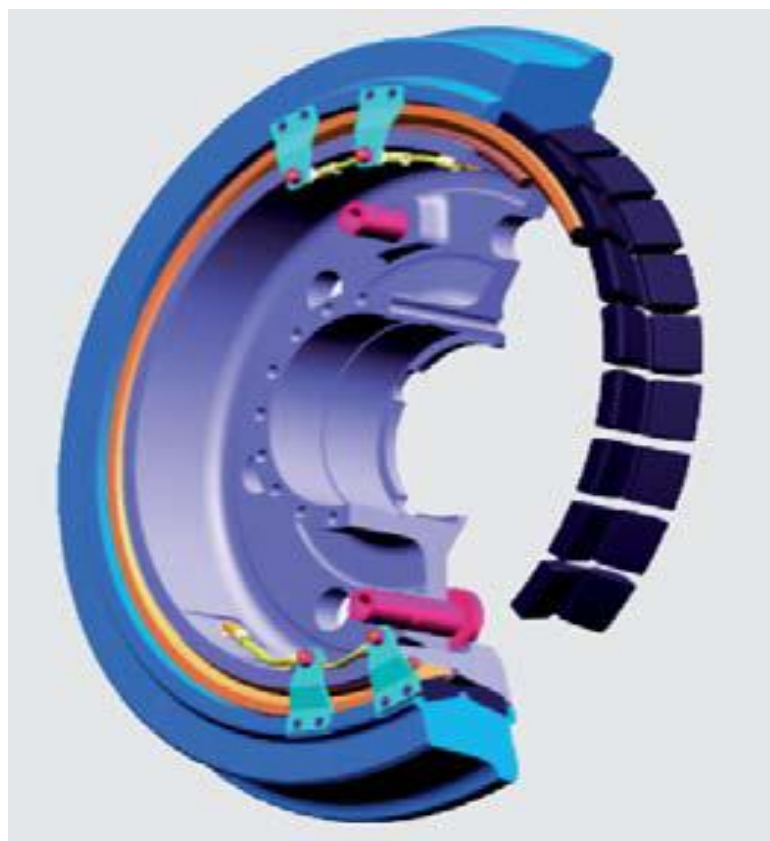
Tvrzená pryž se používá díky své dlouhé životnosti. Zkouškami pryžových bokovnic bylo zjištěno, že jimi lze snížit intenzitu hluku na některých klíčových frekvencích až o 8 dB (A) [19].

6.3 Pryží odpružená kola

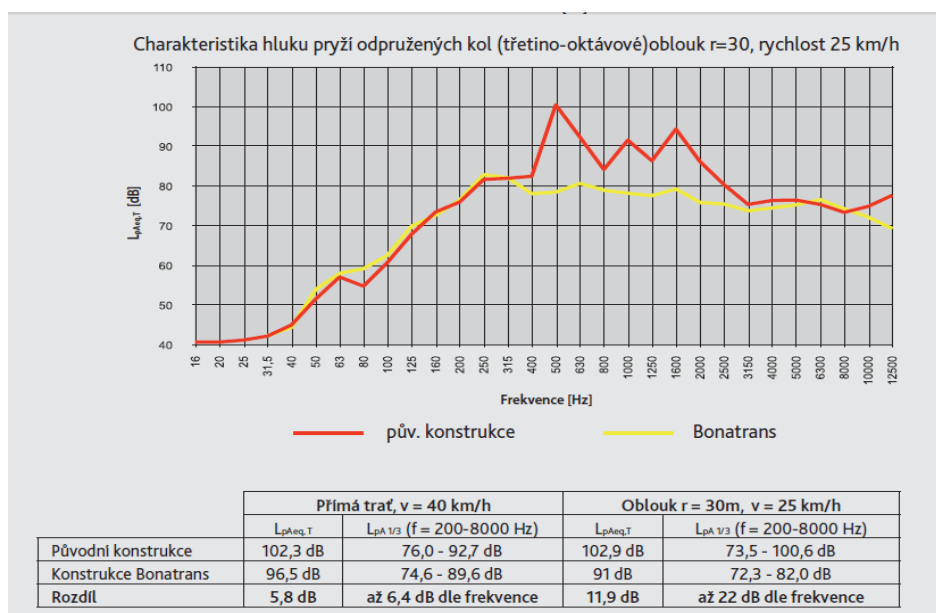
Pryží odpružená kola u nás vyrábí firma BONATRANS GROUP a.s. Princip gumou odpružených kol spočívá v tom, že mezi kotouč a obručí kola se umístí pružné pryžové segmenty (Obr. 6.3 a 6.4). Tyto segmenty výrazně snižují vibrace kola. Konstrukce Bonatrans nepoužívá pro spojení obruče s kotoučem šroubů, tím pádem má kolo nižší hmotnost, je kompaktnější a umožňuje montáž různých potřebných zařízení na desce kola [2].



Obr. 6.3: Základní části kola: 1. Obruč, 2. Pryžové segmenty, 3. Kotouč, 4. Přítlačný kruh, 5. Pojistný kroužek, 6. Zemnicí můstky (spojují obruč s kotoučem)[2]



Obr. 6.4: Řez kolem Bonantrans pro nízkopodlažní tramvaje.[2]

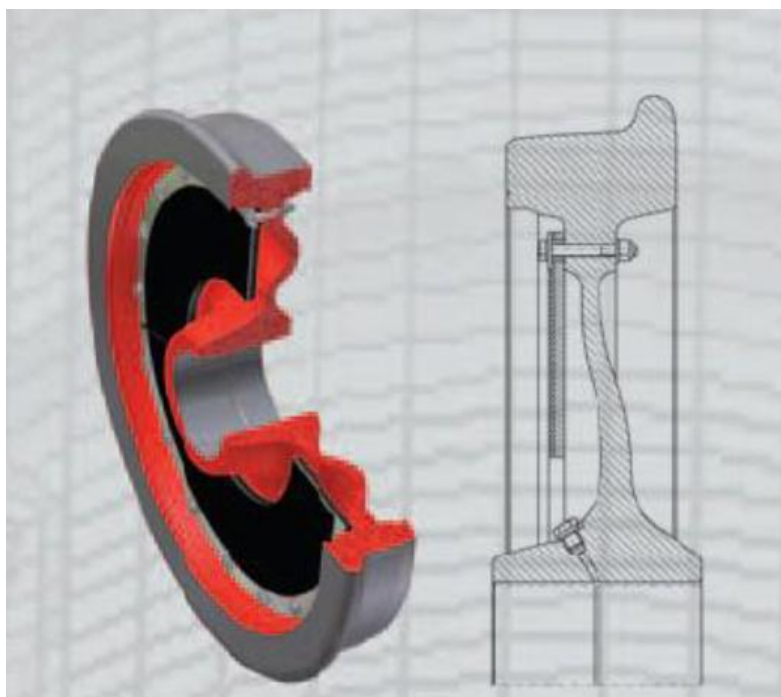


Obr. 6.5: Výsledky měření hluku u kola tramvajové soupravy[2]

Z měření prováděného firmou Bonatrans je patrné, že pryží odpružená kola sníží třetinooktávovou hladinu hluku v jednom pásmu až o 12 dB (A), (viz Obr. 6.5) [2].

6.4 Kompozitní tlumiče

Kompozitní tlumiče tlumí hluk i vibrace. Jsou konstruovány z několika vrstev různých materiálů, které jsou voleny pro maximální utlumení vibrací pro konkrétní kolo (Obr. 6.7). Jako tlumicí kroužky jsou i kompozitní tlumiče lehčí, jejich životnost však není omezena životností kola. Kompozitní tlumiče lze aplikovat na všechny typy kol. Jejich tlumicí účinek je 3 – 4 dB (A).



Obr.: 6.7 Kompozitní tlumiče.

6.5 Protihlukové stěny

Protihlukové stěny jsou takové, které hluk částečně pohlcují a odrážejí a na stěny, které hluk pouze odrážejí. Stěny pohlcující hluk bývají převážně betonové a jejich schopnost pohlcování hluku je v jejich povrchové úpravě. Tyto stěny jsou pórovité, to znamená, že část hluku vstoupí do pórů, kde dojde k utlumení. Po té se provádí

povrchové tvarování, díky kterému se hluk odrazí do míst, kde nikomu nepřekáží (Obr. 6.8).



Obr. 6.8: Betonová protihluková stěna v Rokycanech

7. Měření kvílivého hluku od tramvajové dopravy

7.1 Výběr lokality

Daná lokalita se nachází v Brně, v městské části Starý Lískovec. Jedná se o tramvajovou trať ve smyčce Starý Lískovec, konečná linek číslo 6 a 8. Obrázek číslo 7.1 zobrazuje náhled na vybranou lokalitu. Poloměr oblouku vnitřní koleje je 24 m, vnější koleje je 30 m. V této lokalitě nejsou žádné výškové oblouky. Kolejnice trati jsou uloženy na betonových pražcích ve štěrkovém loži.

Při bližším zkoumání všech možných lokalit jsem zjistila, že tato smyčka ve Starém Lískovci je nejvhodnější lokalitou k měření, protože je zde umožněno bezpečně

měřit a umístit mikrofon podle normy ČSN EN ISO 3095, aniž bych zasahovala do přilehlé komunikace, či nějak omezovala provoz na komunikaci. Proto se vybraná lokalita nalézá na okraji města a v její bezprostřední blízkosti se nenacházejí obytné domy.

Vedle trati vede sběrná komunikace, která je oddělena 1 m širokým zeleným pásem. Nedaleko měřeného úseku se také nachází rychlostní komunikace R23.

V příloze č. 8 se nachází fotodokumentace lokality a jednotlivých měřených úseků.



Obr.: 7.1 Mapa lokality.

7.2 Použité přístroje při měření

Přístroje pro měření:

- Modulární přenosný hlukový analyzátor INVESTIGATOR 2260 (Brüel&Kjaer). Investigator 2260 je univerzální, ruční, bateriový, dvoukanálový zvukový analyzátor, který se skládá z technických prostředků a operačního systému. S tímto přístrojem lze dělat přesnou analýzu zvuku v reálném čase.

Tak jako osobní počítač je řízen aplikačními programy pro různé úkoly. Rozsah analyzátoru je od 16 Hz – 20 kHz. Softwarové vlastnosti zvukového analyzátoru obsahují citlivé rozdělování dat do vzorků a nahrávání dat, což dělá celý systém mnohem efektivnější. Analyzátor lze také připojit k počítači, což umožňuje nahrávání dat přímo do počítače. Hlukový analyzátor Investigator 2260 umožňuje zpracovávat hluk ve venkovním prostředí, analýzu frekvenčního pásma (BZ 7201), analýzu oktavového nebo třetinoctavového pásma (BZ 7202 a BZ 7206), monitorování hluku, shromažďování dat pro další analýzy, výzkum a vývoj hluku a hlukových emisí.



Obr.: 7.2 Investigator 2260

- Směrový mikrofón 4189 (Brüel&Kjaer)
- Stativ UA 0587 (Brüel&Kjaer)
- přenosný anemometr ConradWindmaster 2 – anemometr měří nezávisle na směru větru, zobrazuje aktuální, maximální a průměrnou hodnotu větru. Lze ho připojit na běžný fotostativ, takže ho lze použít také pro stacionární měření.
- měřič rychlosti Buschnell
- meteorologická stanice typ KW9110



Obr.: 7.3 Směrový mikrofon

7.3 Postup měření

Mým úkolem bylo provést měření a analýzu kvílivého hluku od tramvajové dopravy a po té výsledky měření porovnat se mnou sestaveným modelem v programu SoundPlan a zjistit tak rozdílnost programu a reality. Proto bylo nutné vybrat oblouk malého poloměru, ve kterém vzniká kvílivý hluk. Dále je potřeba, aby provoz tramvají v místě měření, byl prováděn přibližně stejnou rychlostí. Vybraná smyčka slouží k čekání a střídání tramvají. Bylo proto potřeba najít místo, kde se tramvaje nerozjíždí a zároveň nedobrzdují. Na obrázku 7.4 je pohled na měřený oblouk.



Obr. 7.4: Měřený oblouk

Na vhodném místě jsem umístila mikrofon podle normy ČSN EN ISO 3095, která říká, že mikrofon musí být umístěn tak, že směřuje kolmo na osu koleje, dále pak musí být od osy koleje vzdálen 7,5 m a ve výšce 1,2 m nad temenem kolejnice. Před samotným měřením jsem provedla kalibraci mikrofonu, abych zajistila správnou funkčnost aparátu. Také jsem laserovým zaměřovačem zjistila vzdálenost mikrofonu a jeho pozici vůči kolejnici. Při měření bylo nutné zaznamenávat hluk a typ projíždějící tramvaje. Také bylo důležité zjistit teplotu vzduchu a rychlost větru. Při měření byla teplota přibližně 22° C, svítlo slunce a vál slabý vítr do 3m.s⁻¹, norma ČSN EN ISO 3095 říká, že v případě, že rychlost větru přesahuje 5m.s⁻¹, nesmí se měření uskutečnit. Měření probíhalo v intervalu mezi 10 a 17 hodinou, tedy zhruba v době, kdy na přilehlé komunikaci není natolik velký provoz, aby ovlivnil výsledky měření a zároveň, aby klimatické podmínky byly co nejlepší. Na tomto místě jsem změřila celkem 21 tramvají. Nejvíce zastoupenou skupinou byly tramvaje typu KT8, v počtu 9 kusů. Další početněji zastoupeným typem tramvají byla tramvaj Škoda 13T, v počtu 6 kusů. V počtu 4 kusů byla změřena tramvaj typu K2. A po jednom kusu byla změřena tramvaj typu 2xT3 a

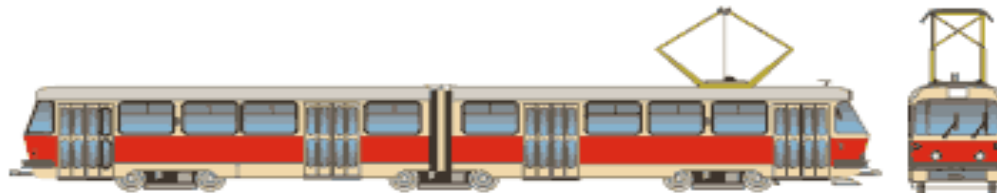
typu Anitra. Tramvaj 2xT3 jsou dvě spřažené tramvaje typu T3. Obrázky 7.5 - 7.9 zobrazují jednotlivé typy tramvají.



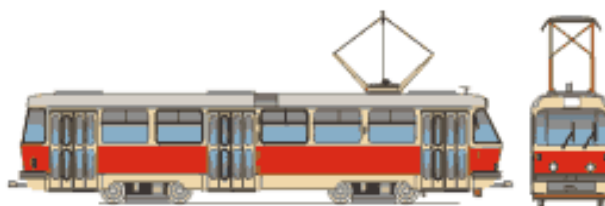
Obr.: 7.5 Tramvaj typu KT8



Obr.: 7.6 Tramvaj typu Škoda 13T



Obr.: 7.7 Tramvaj typu K2



Obr.: 7.8 Tramvaj typu T3



Obr.: 7.9: Tramvaj typu Anitra

Rychlost tramvají v měřeném úseku se pohybovala přibližně kolem 18 km.h^{-1} . Naměřená krátkodobá ekvivalentní hladina hluku L_{Aeqv} se pohybovala mezi 72 dB (A) a 86 dB (A). Maximální hladiny hluku bylo naměřeno při průjezdu tramvají typu K2. Hladina L_{max} dosáhla hodnoty 88 dB (A). Tramvaj typu K2 je jedním z nejstarších, v Brně používaných typů tramvají. Průměrná hodnota hluku všech projíždějících typů tramvají byla $L_{Aeq} = 77 \text{ dB (A)}$.

Druhý měřený úsek se nachází v přímé následující hned za smyčkou. Úsek byl zvolen 150 m od zastávky Starý Lískovec. Místo je tedy v dostatečné vzdálenosti od zastávky, aby měření nebylo znehodnoceno brzděním tramvaje. Mikrofon jsem umístila do vzdálenosti 7,5 m od osy koleje a do výšky 1,2 m nad temenem kolejnice. V tomto úseku bylo změřeno celkem 27 tramvají. Rychlost tramvají se v tomto místě pohybovala okolo 20 km.h^{-1} . I v tomto úseku byl nejpočetnějším typem tramvají typ KT8, v počtu 15 kusů. Dalším nejpočetněji zastoupeným typem tramvají byl typ Škoda 13T, v počtu 7 kusů. V tomto úseku byla změřena také tramvaj typu K2 v počtu 4 kusů a také jedna tramvaj typu 2xT3. Ekvivalentní hladina hluku L_{Aeqv} byla mezi 67 dB (A) a 69 dB (A). Průměrná hodnota všech typů tramvají na daném úseku byla $L_{Aeq} = 68 \text{ dB (A)}$. Naměřená maximální krátkodobá ekvivalentní hladina hluku dosáhla tentokrát tramvaj typu KT8 a hodnota hluku činila $L_{Aeq} = 74 \text{ dB (A)}$. Obrázek 7.10 zobrazuje náhled na měřený přímý úsek.



Obr. 7.10: Měřený přímý úsek.

7.4 Zpracování naměřených dat

Data, která jsem změřila, jsem stáhla z hlukoměru do počítače a po té importovala do textových souborů, do programu Excel. V programu Excel jsem po té realizovala vyhodnocení naměřených dat formou grafu, za pomoci sloupcových grafů.

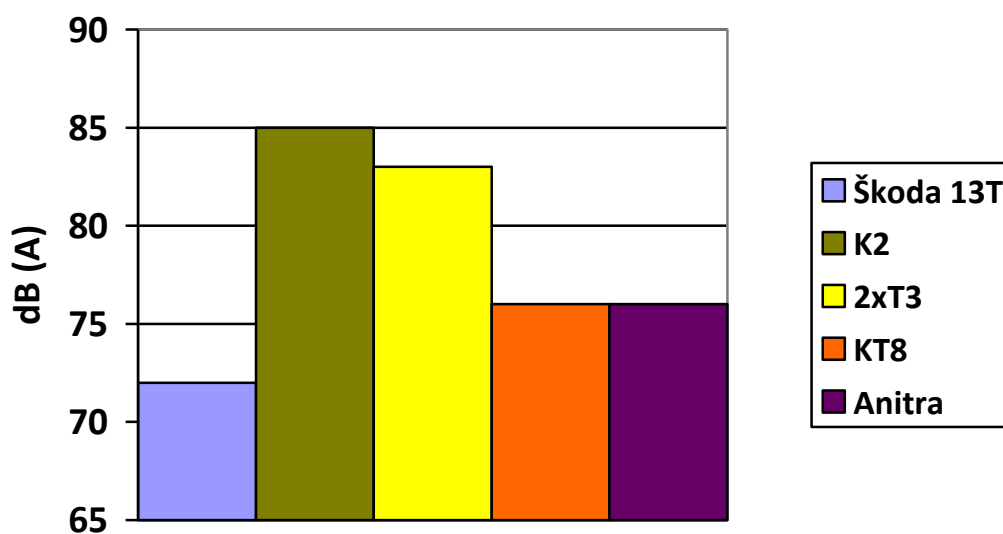
V příloze č. 9 se nachází tabulka s jednotlivými naměřenými krátkodobými ekvivalentními hladinami hluku.

Graf číslo 1 znázorňuje naměřené průměrné hodnoty ekvivalentní hladiny hluku jednotlivých typů tramvají, které projíždějí smyčkou, rychlostí 18 km.h^{-1} . Tab 7.1 obsahuje jednotlivé hodnoty naměřených průměrných ekvivalentních hladin hluku v oblouku, které jsou podkladem pro Graf 1.

Krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v oblouku	
Typ tramvaje	Hladina hluku
Škoda 13T	72 dB (A)
K2	85 dB (A)
2xT3	83 dB (A)
KT8	76 dB (A)
Anitra	76 dB (A)

Tab. 7.1: Změřené průměrné krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v oblouku

krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v oblouku



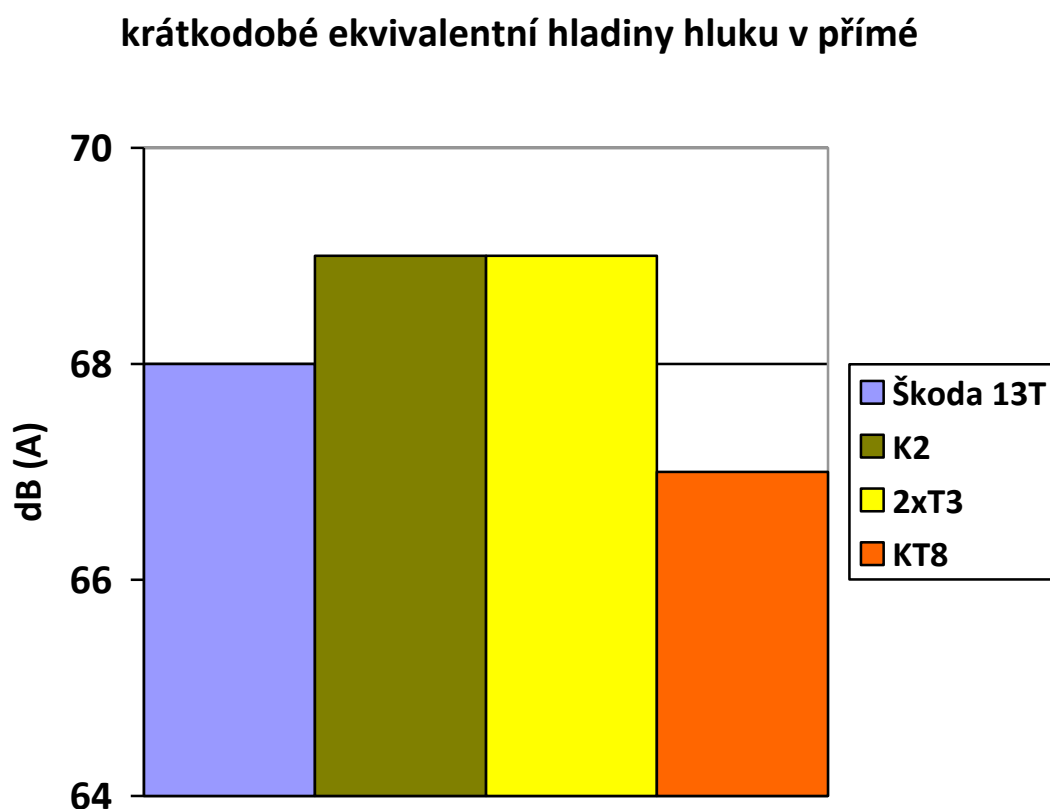
Graf 1: Změřené průměrné krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v oblouku

V dalším grafu je znázorněna naměřená průměrná ekvivalentní hladina hluku všech naměřených typů tramvají projíždějících přímým úsekem tratě, rychlostí

20 km.h⁻¹. Tabulka 7.2 obsahuje naměřené krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v přímém úseku, které jsou podkladem pro Graf 2.

Krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v v přímém úseku	
Typ tramvaje	Hladina hluku
Škoda 13T	68 dB (A)
K2	69 dB (A)
2xT3	69 dB (A)
KT8	67 dB (A)

Tab. 7.2: Změřené průměrné krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v přímém úseku



Graf 2: Změřené průměrné krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v přímém úseku

Vzhledem k tomu, že program SoundPlan pracuje s hodnotami, které znázorňují ekvivalentní hladiny hluku za celý den, bylo potřeba, abych naměřené hodnoty přepočítala podle vzorce:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum T_{ei} 10^{0,1 L_{Aeq, Tei}} \dots\dots\dots (5)$$

kde T je 16 hodin pro časové období den

T_{ei} je doba trvání naměřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku $L_{Aeq, Tei}$

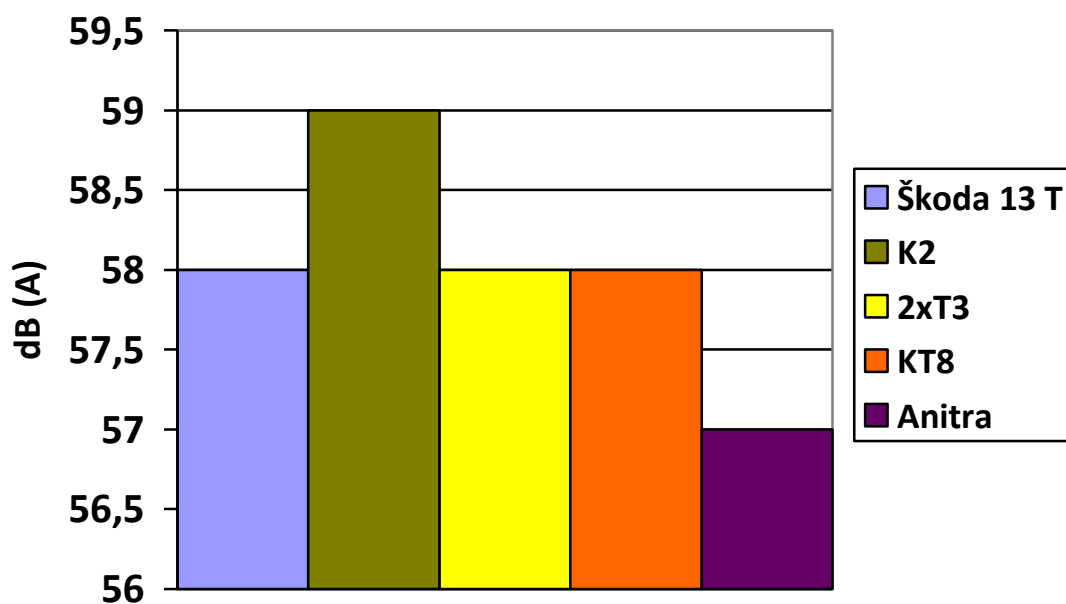
Tímto způsobem byly získány ekvivalentní hladiny hluku, které lze porovnávat s výsledky, které jsem vytvořila v programu SoundPlan. Po přepočítání hodnot tak mohu s programem porovnat ekvivalentní hladiny hluku jednotlivých typů tramvají, nebo také ekvivalentní hladinu hluku spočítanou z hladin všech typů tramvají dohromady. Celková ekvivalentní hladina hluku všech typů tramvají za celý den je $L_{Aeq} = 65$ dB.

Tabulka 7.3 obsahuje ekvivalentní hladiny hluku tramvají projíždějících obloukem za časové období den (tj. za interval mezi 6 a 22 hodinou), které jsou podkladem pro Graf 3, který znázorňuje tyto ekvivalentní hladiny hluku.

Ekvivalentní hladina hluku v oblouku za 16 hodin	
Typ tramvaje	Hladina hluku
Škoda 13 T	58 dB (A)
K2	59 dB (A)
2xT3	58 dB (A)
KT8	58 dB (A)
Anitra	57 dB (A)

Tab. 7.3: Přepočtené ekvivalentní hladiny hluku v oblouku za den

ekvivalentní hladiny hluku v oblouku za den



Graf 3: Přepočtené ekvivalentní hladiny hluku od tramvajové dopravy jednotlivých typů tramvají za celý den, tj. 16 hod

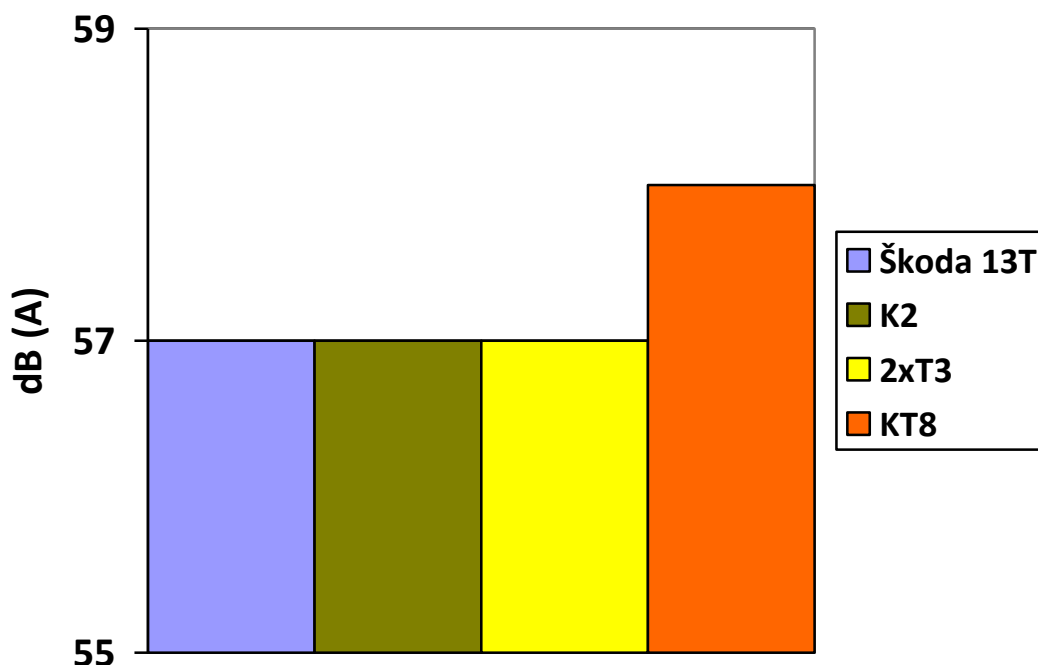
Ekvivalentní hladiny hluku bylo třeba přepočítat i pro přímou. Celková ekvivalentní hladina hluku všech typů tramvají za celý den projíždějících přímým měřeným úsekem je $L_{Aeq} = 64 \text{ dB (A)}$.

Tabulka 7.4 obsahuje ekvivalentní hladiny hluku tramvají projíždějících přímým úsekem za den, které jsou zároveň podkladem pro Graf 4, který znázorňuje tyto ekvivalentní hladiny hluku.

Ekvivalentní hladina hluku v přímém úseku za 16 hodin	
Typ tramvaje	Hladina hluku
Škoda 13T	57 dB (A)
K2	57 dB (A)
2xT3	57 dB (A)
KT8	58 dB (A)

Tab. 7.4: Ekvivalentní hladiny hluku v přímém úseku za den

ekvivalentní hladiny hluku v přímé za den



Graf 4: ekvivalentní hladiny hluku jednotlivých typů tramvají za celý den

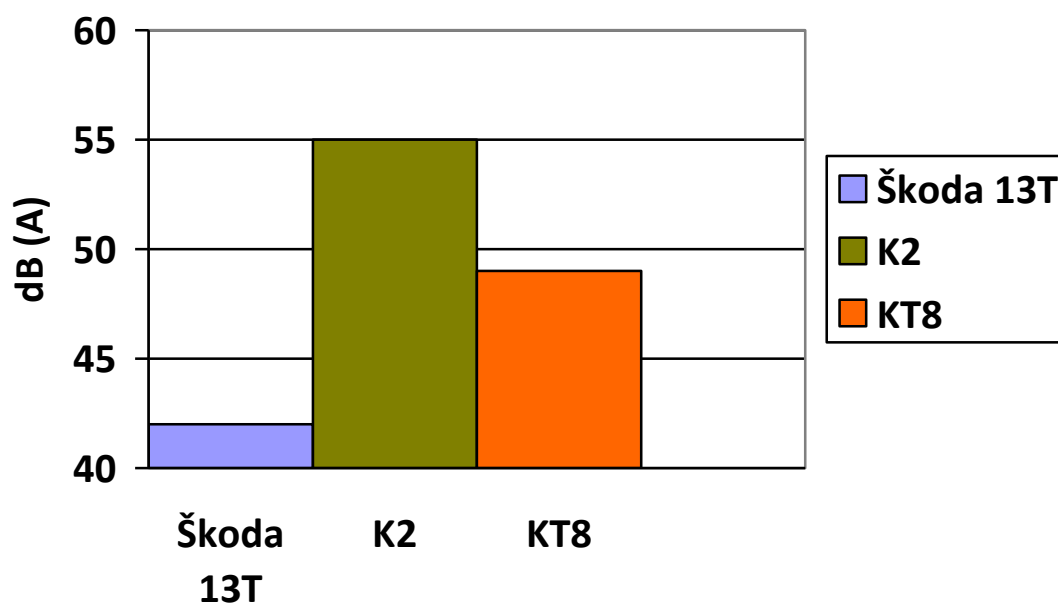
Z průměrných ekvivalentních hladin hluku jsem vypočítala hodnoty pro ekvivalentní hladiny hluku při průjezdu tramvaje obloukem a přímým úsekem v noci (tj. v době od 22 do 6 hodin). Po konzultaci na Dopravním podniku města Brna jsem zjistila, že v noci touto lokalitou projíždí tramvaj typu KT8 v počtu 12 kusů, tramvaje typu Škoda 13T a K2 shodně po 6 ti kusech. Celková ekvivalentní hladina hluku při průjezdu všech typů tramvají obloukem v noci je $L_{Aeq} = 56$ dB (A).

Tabulka 7.5 obsahuje vypočtené hodnoty ekvivalentních hladin hluku tramvají projíždějících obloukem v noci, které jsou podkladem pro Graf 5, který znázorňuje tyto ekvivalentní hladiny hluku.

Ekvivalentní hladina hluku v oblouku od 22:00 do 6:00	
Typ tramvaje	Hladina hluku
Škoda 13T	42 dB (A)
K2	55 dB (A)
KT8	49 dB (A)

Tab. 7.5: Ekvivalentní hladiny hluku v oblouku za noc

ekvivalentní hladiny hluku v oblouku v noci



Graf. 5: Ekvivalentní hladiny hluku jednotlivých typů tramvají projíždějících obloukem v noci

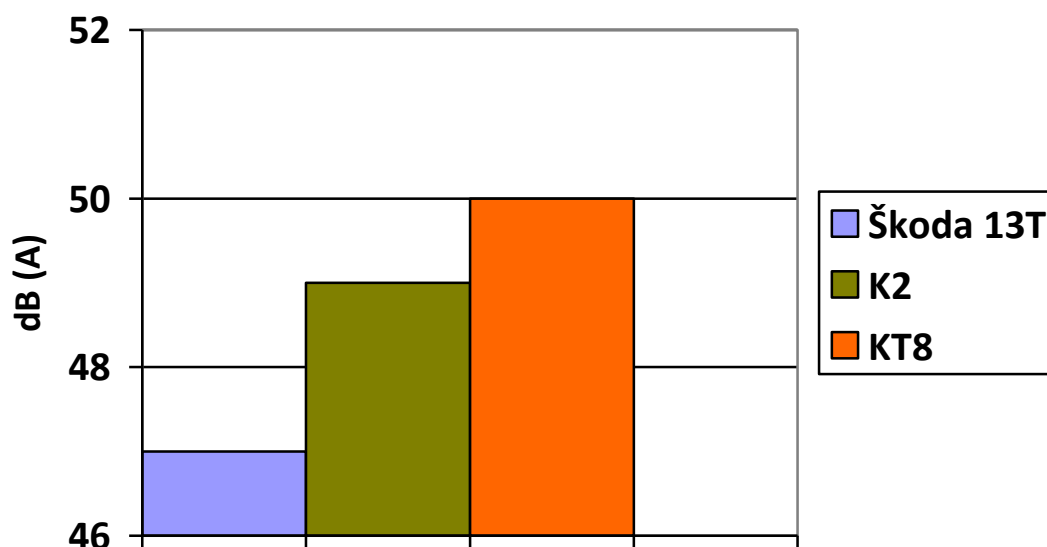
Tabulka 7.6 obsahuje přepočtené ekvivalentní hladiny hluku jednotlivých typů tramvají projíždějících přímým úsekem v noci, které jsou podkladem pro Graf 6, jenž

znázorňuje tyto ekvivalentní hladiny hluku. Celková ekvivalentní hladina hluku v přímém úseku v noci je $L_{Aeq} = 54$ dB (A).

Ekvivalentní hladina hluku v přímém úseku od 22:00 do 6:00	
Typ tramvaje	Hladina hluku
Škoda 13T	47 dB (A)
K2	49 dB (A)
KT8	50 dB (A)

Tab. 7.6: Ekvivalentní hladiny hluku v přímém úseku v noci

ekvivalentní hladiny hluku v přímém úseku v noci



Graf 6: Ekvivalentní hladiny hluku jednotlivých typů tramvají projíždějících přímým úsekem v noci

8. Tvorba akustického modelu v programu SoundPlan

8.1 Příprava podkladů pro tvorbu akustického modelu

Pro tvorbu akustického modelu je zapotřebí vhodně upravit polohopis, výškopis a Intenzitu provozu. Intenzitu provozu jsem zjistila z jízdních řádů, které jsou k nalezení na stránkách dopravních podniků města Brna.

8.1.1 Polohopis

Polohopisná data jsem získala z modelu ZABAGED[®], který provozuje Český zeměměřičský a katastrální úřad. Tato získaná data byly ve formátu DGN, což je formát pro aplikaci MicroStation Design, a byla poskytnuta v souřadnicovém systému S-JTSK, výškový systém těchto dat je baltský po vyrovnání.

„ZABAGED[®] je nejpodrobnější základní geografická databáze, jenž pokrývá celé území České republiky. Přesnost a podrobnost odpovídá Základní mapě české republiky v měřítku 1:10 000 (ZM 10). V geografické databázi ZABAGED[®] jsou obsaženy veškeré možné informace, tedy informace o sídlech, komunikacích, produktovodech, rozvodných sítích, územních jednotkách, chráněných územích a chráněných krajinných oblastech, vegetaci, povrchu a prvcích terénního reliéfu. Součástí ZABAGED[®] jsou i vybrané údaje o geodetických, výškových a tíhových bodech na území České republiky a výškopis reprezentovaný prostorovým 3D souborem vrstevnic. Zpracovatelem databáze ZABAGED[®] a jejím garantem je Zeměměřický úřad.“ [7]

Získaná data jsem upravila v programu MicroStation, který je součástí softwaru Bentley. Úprava dat spočívala ve výběru a přejmenování vrstev, které jsou důležité pro sestavení hlukového modelu a importovala je do programu SoundPlan. Jsou to vrstvy, Kolej, Budova a Blok Budov. Další vrstvy nemají žádný vliv na výsledek výpočtu, a proto jsem je do samotného modelu nezahrnovala, jednou z těchto vrstev je například vrstva znázorňující plochy zeleně.

Polohu hlukoměru jsem zaměřila pomocí GPS, abych ji mohla později zanést do hlukového modelu za pomoci souřadnic. Správné umístění mikrofону bylo popsáno výše.

8.1.2 Výškopis

Výškopisná data, která jsem potřebovala pro sestavení digitálního modelu terénu, jsem také získala modelem ZABAGED[®] ve formátu DGN. Tato data jsou ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání. Data jsem po té importovala do programu SoundPlan z vrstev Hlavní Vrstevnice a Vedlejší Vrstevnice.

8.1.3 Intenzita provozu

Informace o intenzitě provozu jsem získala z aktualizovaných jízdních řádů, které jsou k nalezení na blízkých zastávkách, nebo volně k nahlédnutí na internetových stránkách dopravního podniku města Brna. Z těchto jízdních řádů jsem zjistila, že mnou měřeným obloukem projíždí v době od 6:00 do 22:00 celkem 307 tramvají, v době od 22:00 do 6:00 je to potom 24 tramvají. Přičemž od 6:00 do 22:00 tudy projíždí tramvaje typu KT8 v počtu 173 kusů, tramvaj typu Škoda 13T v počtu 69 kusů, tramvaj typu K2 v počtu 46 kusů, tramvaj typu 2xT3 v počtu 11 ks a tramvaj typu Anitra v počtu 10 kusů. V době od 22:00 do 6:00 zde projíždí tramvaj typu KT8 v počtu 12 kusů, tramvaj typu Škoda 13T v počtu 8 kusů a tramvaj typu K2 v počtu 4 kusy. V přímém úseku je počet projíždějících tramvají stejný, jako ve smyčce.

8.2 Popis sestavení akustického modelu

Akustický model jsem vytvářela v modelu SoundPlan (viz Obr. 8.1). Vytváření akustického modelu sestává z několika kroků. Já jsem použila tyto 4 kroky:

Geodatabáze – v geodatabázi se jedná o import dat polohopisu a výškopisu a vytvoření situace

Výpočet – ve výpočtové části se jedná o výpočet digitálního modelu terénu (DTM), dále o výpočet hlukových rastrových map, výpočet ekvivalentních hladin hluku v indikátoru představujícího použitý mikrofon

Tabulky výsledků – zde jsem zpracovávala výsledky vypočítaných ekvivalentních hladin hluku mikrofону

Grafika - zpracování výsledků a vykreslení těchto výsledků do rastrových hlukových map s legendou a následný export těchto map



Obr. 8.1: Náhled na hlavní menu programu SoundPlan

8.2.1 Tvorba situace v Geodatabázi

Situaci jsem tvořila v modulu Geodatabáze. Tento modul pracuje s geosoubory, což jsou vrstvy, které obsahují stejné nebo různé prvky (komunikace, budovy, ...).

Jako první krok jsem musela importovat mnou upravená výškopisná data, ve formátu DGN. Po té jsem soubor uložila a v modulu Výpočet, jsem spustila výpočet digitálního modelu terénu, následně jsem DTM načetla do modulu Geodatabáze. V modulu Geodatabáze jsem pokračovala importováním polohopisných dat, která jsem rozdělila do různých geosouborů: budovy, tramvajová trať, oblast výpočtu a bodové přijímače (viz Obr. 8.2).

Budovy:

Budovy jsem importovala z polohopisných dat, z vrstev Budova a Blok budov. Data jsem nejprve importovala jako čáru a po té jsem jim změnila funkci a vlastnosti na prvek budova. Dále jsem v tabulce vlastností budovy, budovu přejmenovala a nakonec jsem zadala výšku budovy.

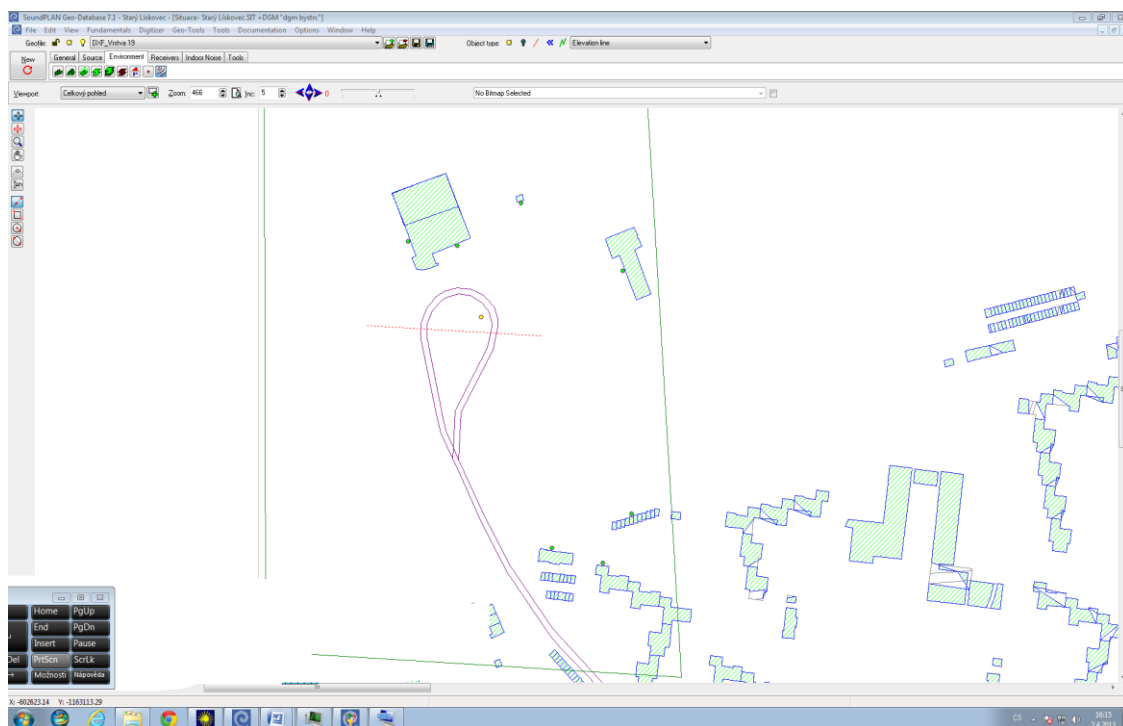
Tramvajová trať:

Tramvajovou trať jsem opět importovala z polohopisných dat, tentokrát z vrstvy mnou nazvané Kolej. Po té jsem znovu musela změnit prvek čára na prvek kolej.

Jako další věc jsem nastavovala vlastnosti trati. Železniční svršek v mnou měřeném úseku je tvořen betonovými pražci ve šterkovém loži. Nedaleko smyčky se nachází most, který vede kolmo přes trať. Pro mé měření je ale tento most nepodstatný a proto jsem ho do situace nezahrnovala. Dále bylo nutné do vlastností koleje zadat počet projíždějících tramvají ve dne a v noci, které jsem zjistila z jízdních řádů a po konzultaci na dopravním podniku. Po té jsem změnila poloměr oblouku koleje ve Smyčce na $R < 300\text{m}$. Bohužel v modulu se nedá změnit poloměr oblouku na přesnou hodnotu, kterou jsem zjistila z dopravního podniku města Brna. Tramvaje projížděly rychlostí $18\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. I délku tramvají jsem zjistila z internetových stránek dopravních podniků a konzultací na dopravním podniku.

Bodové přijímače:

Bodové přijímače jsem zvolila tak, že jsem je umístila na nejbližší budovy a jeden jsem umístila na místo, na kterém stál opravdový mikrofon. Jeho umístění jsem zjistila tak, že jsem za pomoci GPS zaměřila souřadnice mikrofону, které jsem po té zadala do vlastností bodového přijímače. V jeho vlastnostech jsem také musela změnit výšku, protože při zadávání samotných souřadnic přijímače zůstala výška terénu. Výšku přijímače jsem změnila při samotném měření. Bylo potřeba zadat přijímač i v místě, kde stál přijímač při měření v přímé. Jeho souřadnice jsem zjistila pomocí GPS při samotném měření.



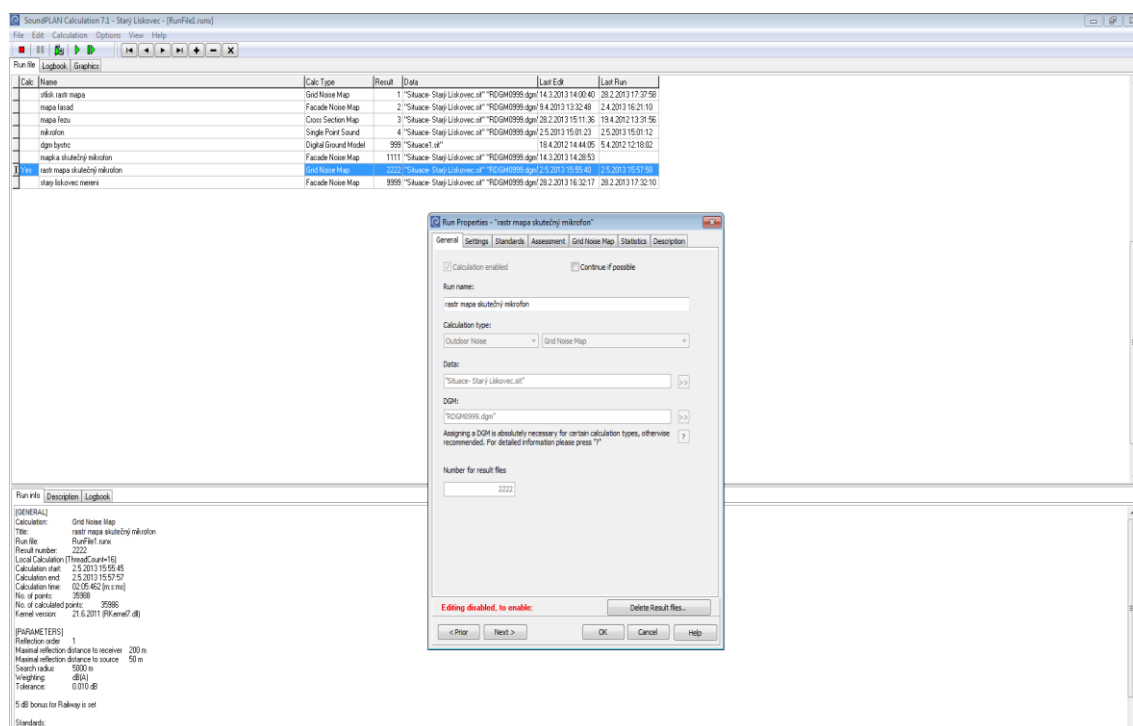
Obr. 8.2: Náhled na tvorbu situace

8.2.2 Výpočet ekvivalentních hladin hluku

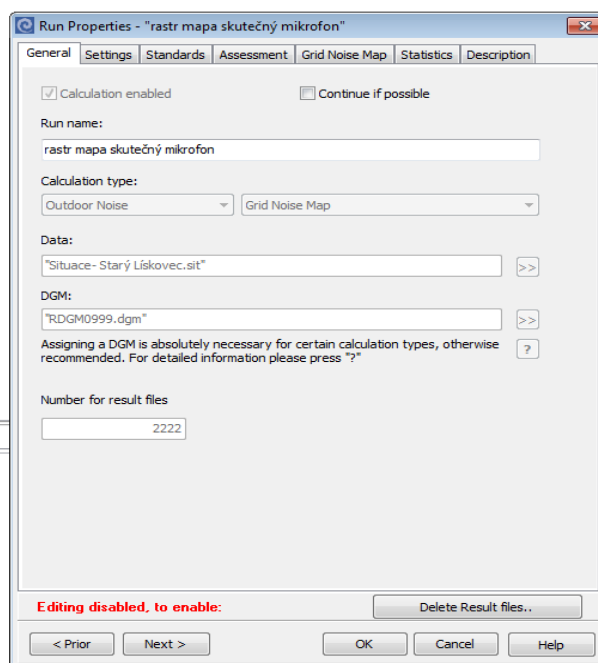
Výpočet ekvivalentních hladin hluku jsem prováděla v modulu Výpočet. Program SoundPlan pro výpočet ekvivalentních hladin hluku nabízí mnoho různých modulů, které jsem podrobněji prozkoumala, dle návodu. Po bližším prozkoumání všech dostupných modulů v programu SoundPlan, jsem zjistila, že pro snadnější manipulaci s daty a přehlednější zadávání kritérií, se nejlépe hodí modul Schall03. Tento model také lépe odpovídá zdejším podmínkám. Do modelu je nutné zadat přesný počet tramvají, které měřeným úsekem projíždí, dále pak je nutné zadat délku tramvají. Pro výpočet šíření zvuku v prostředí je trať rozdělena do kratších úseků. Pro každý úsek je po té počítán jeho vliv na hladinu hluku v daném bodě. Tato hladina hluku vychází z referenční hladiny hluku, vzdálenosti od trati, absorpcí hluku vzduchem, délky jednotlivých úseků, vlivu odrazivosti určitých povrchů a meteorologických podmínek. Obrázky 8.3 a 8.4 znázorňují panely výpočtů.

Pro výpočet jsem použila rastrovou hlukovou mapu v jedné výšce a to výšce skutečného mikrofону 1,2 m nad temenem kolejnice. Dále jsem si nechala vymodelovat

mapy v příčném řezu tratě jak v oblouku, tak v přímé a také určení jednotlivých ekvivalentních hladin hluku v bodových přijímačích.



Obr. 8.3: Panel zadání typu výpočtů v modulu Výpočet



Obr. 8.4: Editor příkazů běhu výpočtu

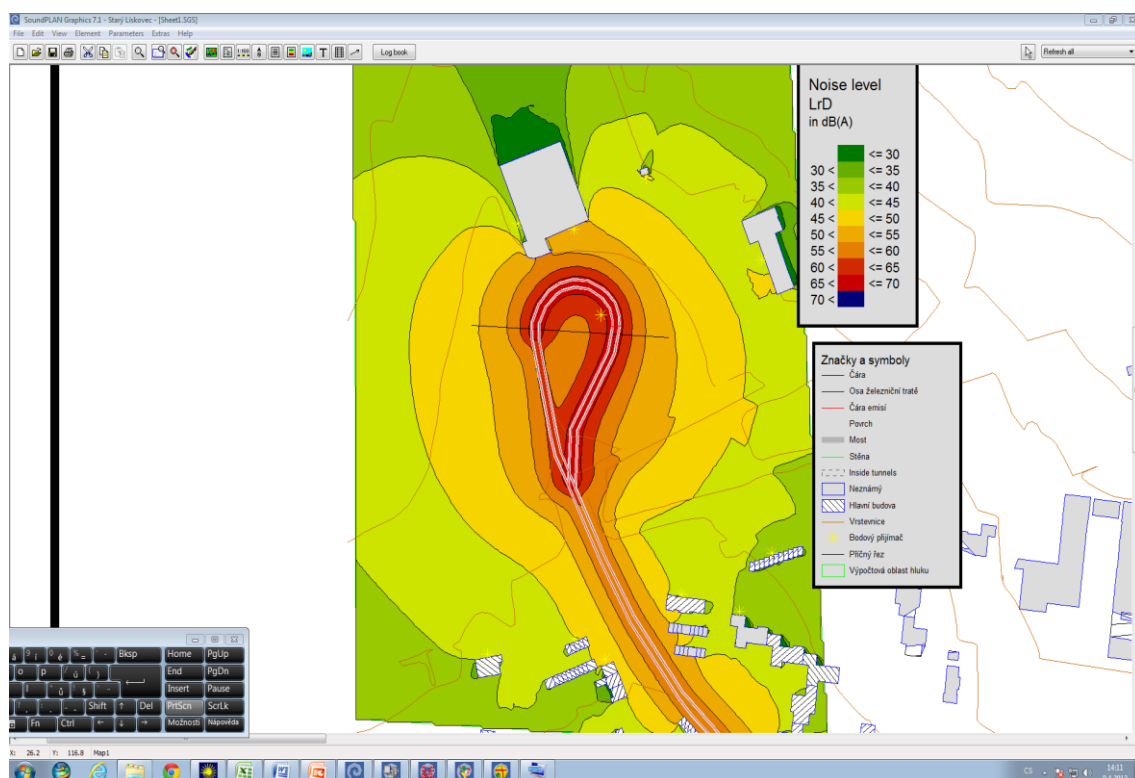
8.2.3 Tabulka výsledků

V modulu tabulka výsledků jsem zpracovávala data pro denní dobu, z jednotlivých přijímačů. Získala srozumitelný přehled výsledků ekvivalentních hladin hluku jednotlivých bodových přijímačů, které jsem dále mohla porovnávat s naměřenou realitou. Z tabulky výsledků jsem zjistila, že hladina ekvivalentního hluku **za 16 hodin** je pro měřený oblouk i přímý úsek je stejná a je $L_{Aeq} = 62$ dB (A). Ekvivalentní hladina hluku pro měřený oblouk i přímý úsek v noci je $L_{Aeq} = 53$ dB (A).

8.2.4 Grafika

V modelu grafika jsem zpracovávala mapové podklady. Vygenerovala jsem rastrovou mapu ekvivalentní hladiny hluku dané lokality v průběhu dne (viz Obr. 8.3). Měřítko dané mapy jsem zvolila 1:2400, kvůli lepší přehlednosti. Pro lepší grafické znázornění jsem barevnou škálu rozdělila po 5dB (A).

Mapy příčných řezů tratí jsem zvolila v měřítku 1:350 a barevnou škálu jsem rozdělila po 5 dB (A).



Obr. 8.3: Náhled na práci s grafikou.

Jednotlivé hlukové mapy se nalézají v přílohách.

V přílohách č.1 a č.2 se nachází hlukové mapy situace. Znázorňují šíření ekvivalentních hladin hluku ve dne a v noci. Mapy jsou v měřítku 1:2400. Barevná škála mapy ekvivalentních hladin hluku ve dne je v rozmezí od 30 do 70 dB (A) a je rozdělená po pěti decibelech. Barevná škála mapy ekvivalentních hladin hluku v noci je v rozmezí od 25 do 75 dB (A) a je také rozdělená po pěti decibelech.

Přílohy č.3 – č.6 znázorňují příčný řez tratí v oblouku a v přímém úseku ve dne i v noci. Všechny tyto mapy jsou v měřítku 1:350. Barevná škála těchto map je také rozdělena po pěti decibelech. Pro lepší přehlednost je barevná škála v rozmezí od 45 do 85 dB (A).

Příloha č.7 znázorňuje ekvivalentní hladiny hluku přímo v místě bodových přijímačů. Tato mapa je v měřítku 1:2400. Barevná škála je rozdělena po pěti decibelech a je v rozmezí od 48 do 88 dB (A).

9. Závěr a doporučení

Z výpočtového modelu je patrné, že ekvivalentní hladina hluku pro místa, na nichž byl umístěn bodový přijímač, reprezentující skutečný mikrofón je $L_{Aeq} = 62$ dB (A) v časovém úseku den a $L_{Aeq} = 53$ dB (A) v časovém úseku noc.

Při měření bylo zjištěno, že skutečná ekvivalentní hladina hluku při průjezdu tramvaje obloukem je $L_{Aeq} = 65$ dB (A), a při průjezdu tramvaje přímým úsekem je $L_{Aeq} = 64$ dB (A) ve dne. V noci je ekvivalentní hodnota hluku při průjezdu tramvaje obloukem je $L_{Aeq} = 56$ dB (A) a při průjezdu tramvaje přímým úsekem je $L_{Aeq} = 54$ dB (A). Rozdíl hodnot mezi výpočtem v programu SoundPlan a reálnými, naměřenými hodnotami, přepočtenými na den je tedy 3 dB (A).

Rozdíl mezi modelem a měřením je tedy relativně malý a může být způsoben mnoha jevy. Jedním z těchto jevů může být i chyba měření modelu.

Dále tento rozdíl může být také způsoben tím, že v blízkosti trati se nachází komunikace, na které však není příliš velký provoz a kterou jsem do modelu

nezahrnula. Nezahrnula jsem ji proto, že při měření v oblouku jsem mikrofonom mířila na opačnou stranu, než se komunikace nachází. Což je v souladu s normou ČSN EN ISO 3095, která říká, že mikrofón musí směřovat na opačnou stranu, než je silniční komunikace. Posledním z důvodů, proč jsem komunikaci nezahrnula do modelu je, že měření bylo realizováno pouze při průjezdu tramvaje obloukem nebo měřeným přímým úsekem. Ve chvíli kdy tramvaj projela, jsem pozastavila snímání dat. Po tuto dobu nemuselo po komunikaci projíždět žádné vozidlo.

S přihlédnutím k těmto skutečnostem a po prozkoumání reálných a výpočtových výsledků mohu říci, že mnou sestavený model v programu SoundPlan zhruba odpovídá realitě. Tím, že jsem zjistila, že model zhruba odpovídá realitě, mohu doporučit, aby se program SoundPlan a jeho modul Schall03 použil pro vymodelování situací, v lokalitách, kde by se nedal správně umístit mikrofón, podle normy ČSN EN ISO 3095. Po té by se podle tohoto modelu dalo určit, jestli v jednotlivých lokalitách dochází k překročení mezních hladin hluku, a navrhnout řešení, jak hladiny hluku snížit.

Z prezentované mapy je patrné, že v daném případě jsou obytné budovy od trati poměrně daleko. To znamená, že v tomto místě nedochází k porušení hygienických hlukových limitů. Z tohoto důvodu není potřeba navrhnout prostředky ke snižování hladiny hluku.

V případě potřeby snížení ekvivalentní hladiny hluku bych doporučila použití bokovnic, případně aplikaci mazníků na projíždějící soupravy, tím by se hladina hluku snížila na přijatelnou úroveň.

10. Literatura

- [1] www.szu.cz – vliv hluku na lidský organismus
- [2] www.bonatrans.cz – informace o výrobcích
- [3] www.dpmb.cz – informace o jízdních řádech a parametrech oblouku ve smyčce
- [4] www.wikipedia.org
- [5] http://www.bksv.es/doc/prodcat/2260_Investigator.pdf - Investigator User's Manual
- [6] SoundPlan: User's Manual
- [7] Český úřad zeměměřický a katastrální: data ZABAGED® - polohopis a výškopis. Dostupné na <http://www.cuzk.cz>
- [8] ČSN EN ISO 3095 Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly 10/2006
- [9] NOVÝ R.: Hluk a chvění, ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-02246-3
- [10] VAŇKOVÁ M. a kol.: Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí: část I. První vydání. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., listopad 1995. 140 s., ISBN 80-214-0695-X.
- [11] BERANEK L.: Snižování hluku, Praha 1995, 729 s.,
- [12] PLANETA. Ročník XII, číslo 2/2005. ISSN 1213-3393. MK ČR E 8063
- [13] Příloha zpravodaje Ministerstva životního prostředí č. 3/1996
- [14] Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku od dopravy, VUVA 1991
- [15] Výzkumný ústav železniční, a.s.: Technická zpráva – o řešení etapy I. úkolu „Databáze hlukových zdrojů na železnici“ 12/2006
- [16] www.mapy.cz: mapy
- [17] Přednášky: Hluk od železniční dopravy (prof. Doc. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.)
- [18] www.bohemiaelast.cz/cz/produkty
- [19] http://www.gummipraha.cz/upl/cinnosti/100085s_Katalog_RCS.pdf
- [20] ČSN ISO 1996-1 Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí - část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení, 9/2004

- [21] TOMÁŠ KADERKA: Posouzení účinků hluku od železniční dopravy, bakalářská práce, Brno, 2010, VUT v Brně, FAST, Ústav železničních konstrukcí a staveb, str. 36
- [22] ČSN ISO 1996-2 Akustika – Popis, měření a posuzování hluku prostředí část 2: Určování hladin hluku prostředí, 8/2009

11. Seznam Příloh

Příloha č. 1 – hluková mapa lokality v době od 6:00 do 22:00 hodin

Příloha č. 2 – hluková mapa lokality v době od 22:00 do 6:00 hodin

Příloha č. 3 – příčný řez tratí v oblouku v době od 6:00 do 22:00 hodin

Příloha č. 4 – příčný řez tratí v oblouku v době od 22:00 do 6:00 hodin

Příloha č. 5 – příčný řez tratí v přímém úseku v době od 6:00 do 22:00 hodin

Příloha č. 6 – příčný řez tratí v přímém úseku v době od 22:00 do 6:00 hodin

Příloha č. 7 – Ekvivalentní hladiny hluku jednotlivých bodových přijímačů

Příloha č. 8 – Fotodokumentace lokality

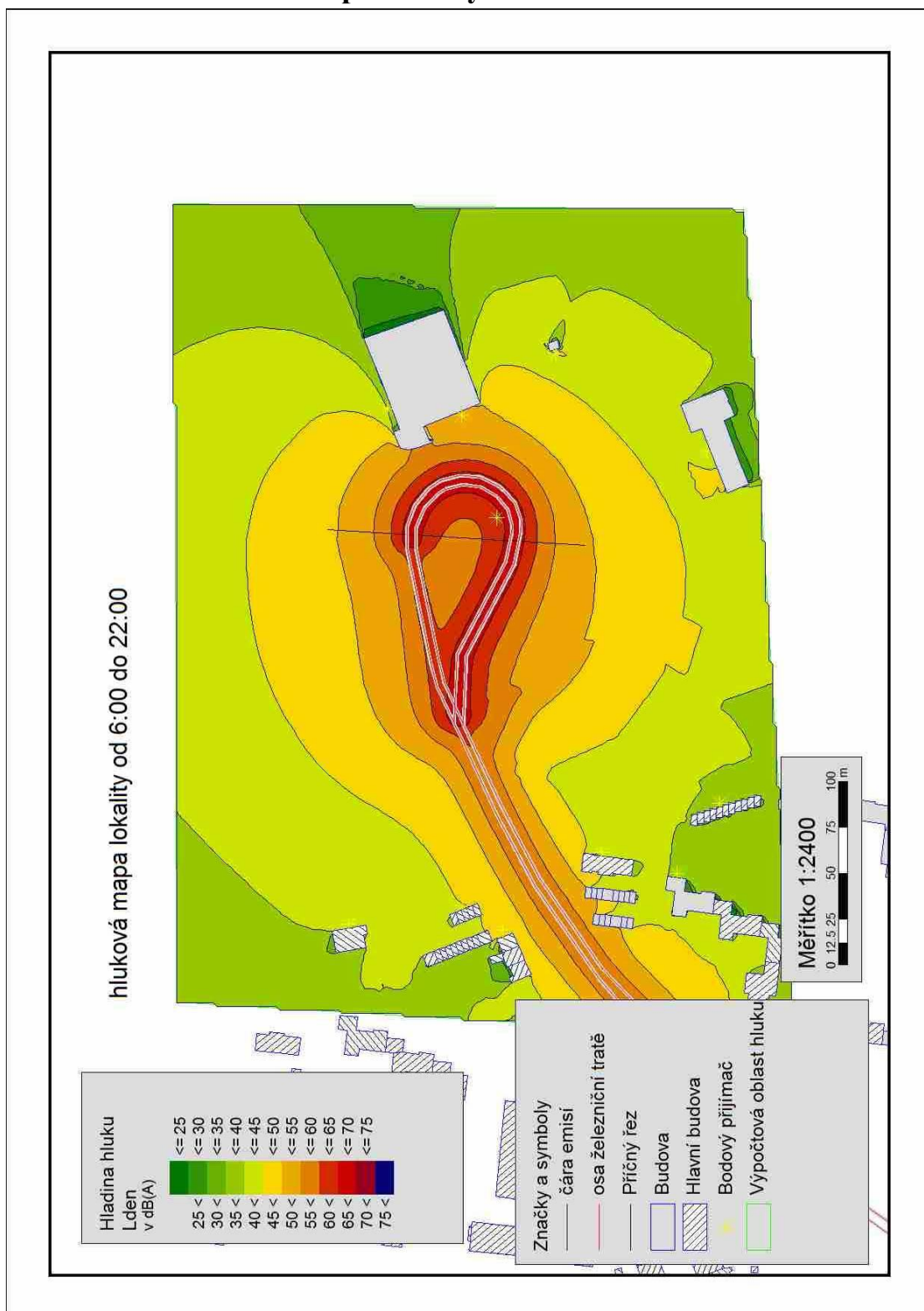
Příloha č. 9 – Tabulka jednotlivých naměřených hodnot ekvivalentních hladin hluku

12. Seznam použitých zkratk a symbolů

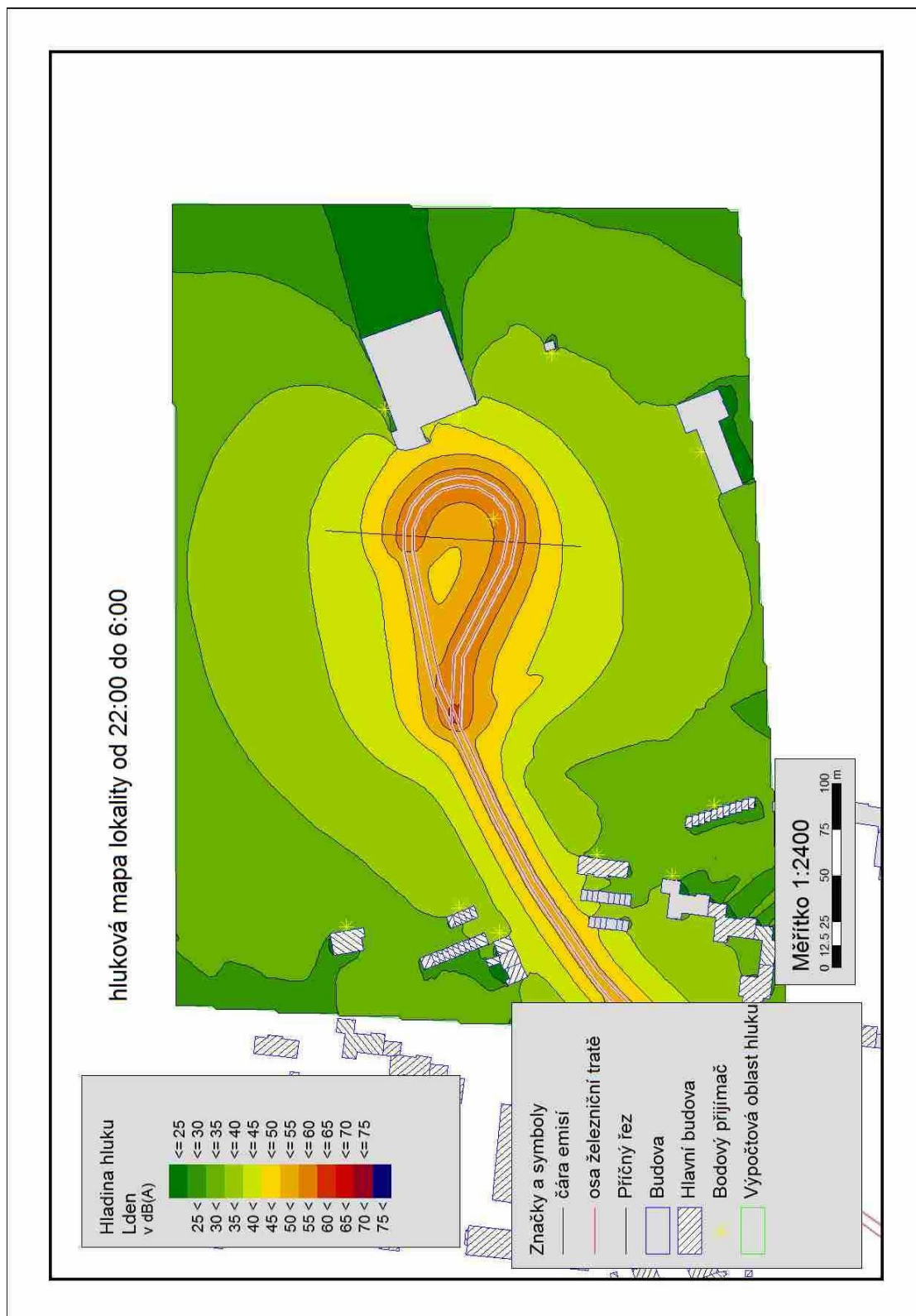
L_p	hladina akustického tlaku [dB]
p	sledovaný akustický tlak [Pa]
p_0	referenční akustický tlak [Pa]
L_I	hladina akustické intenzity [dB]
I	intenzita hluku [W.m-2]
I_0	intenzita prahu slyšitelnosti [w.m-2]
L_{pA}	hladina hluku převáděná na filtr A [dB]
L_{pi}	hladina akustického hluku v daném pásmu[dB]
K_{Ai}	korekce závislá na středním kmitočtu v oktávovém nebo třetinooktávovém pásmu
L_{Aeq}	ekvivalentní hladina hluku [dB]
L_{AE} (SEL).....	hladina hlukové expozice
T	perioda, doba trvání [s]
T_{ei}	doba trvání naměřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku [s]
ZABAGED.....	základní geografická databáze
DTM.....	Digitální model terénu

Přílohy

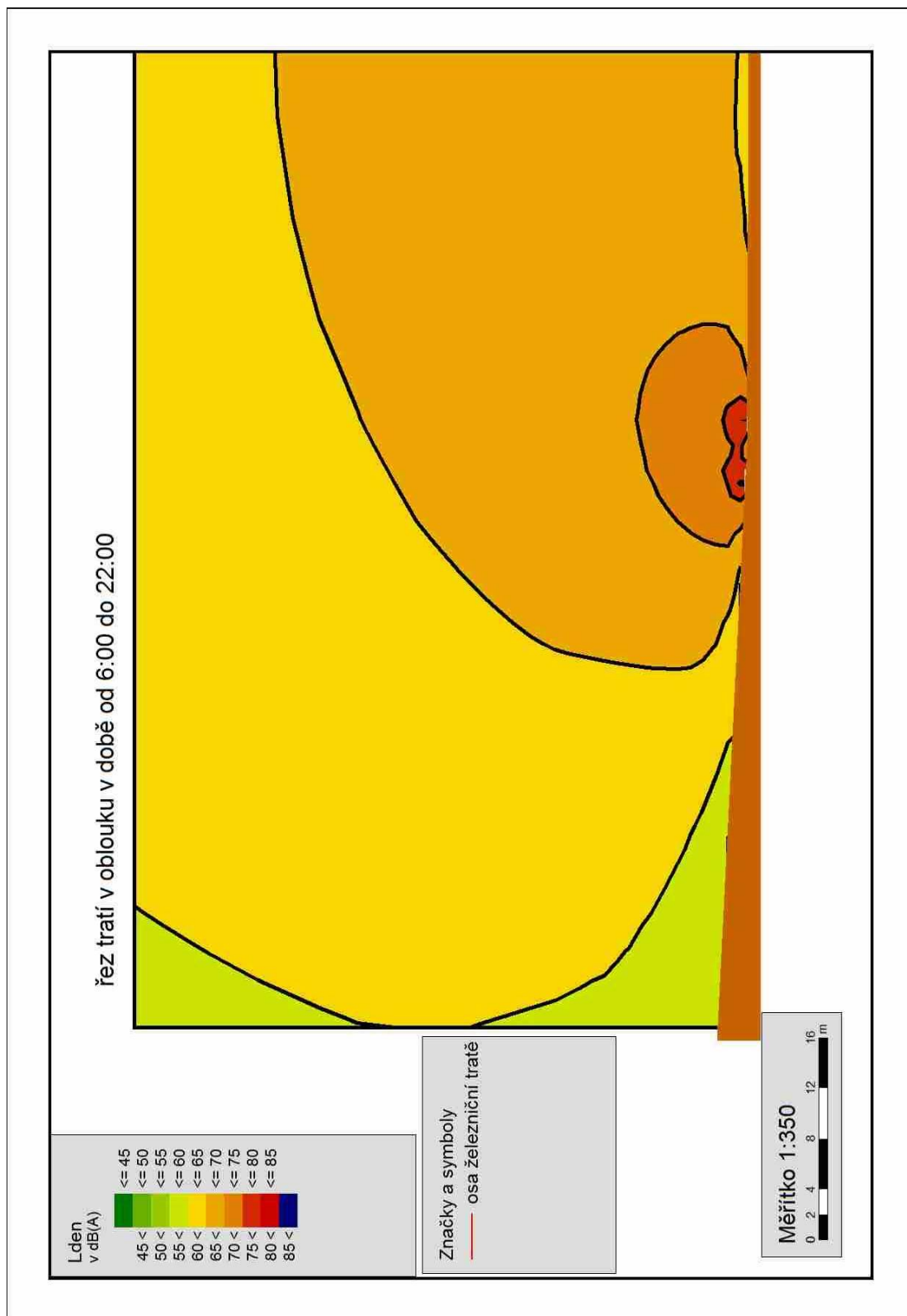
Příloha č. 1 – hluková mapa lokality v době od 6:00 do 22:00 hodin



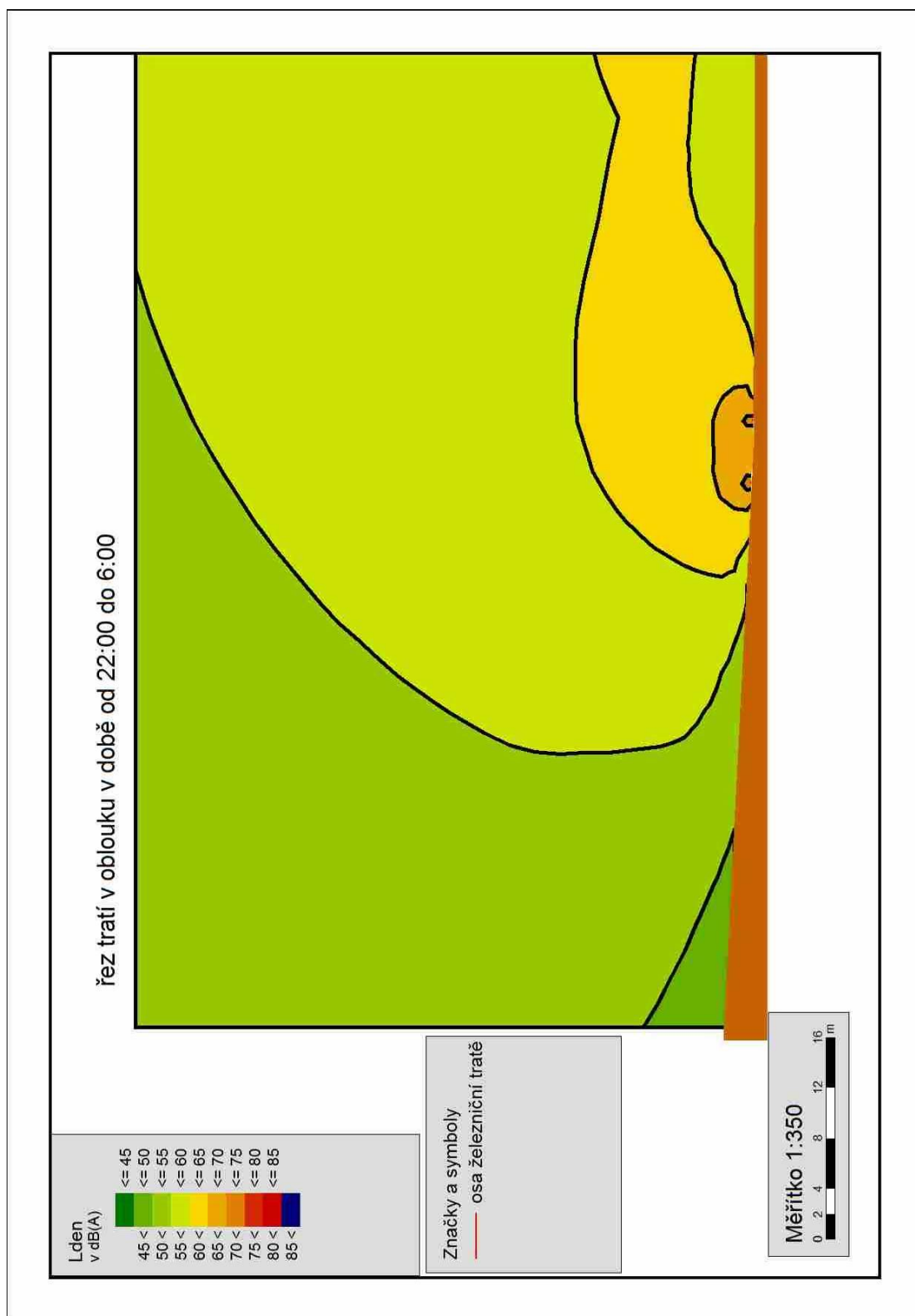
Příloha č. 2 – hluková mapa lokality v době od 22:00 do 6:00 hodin



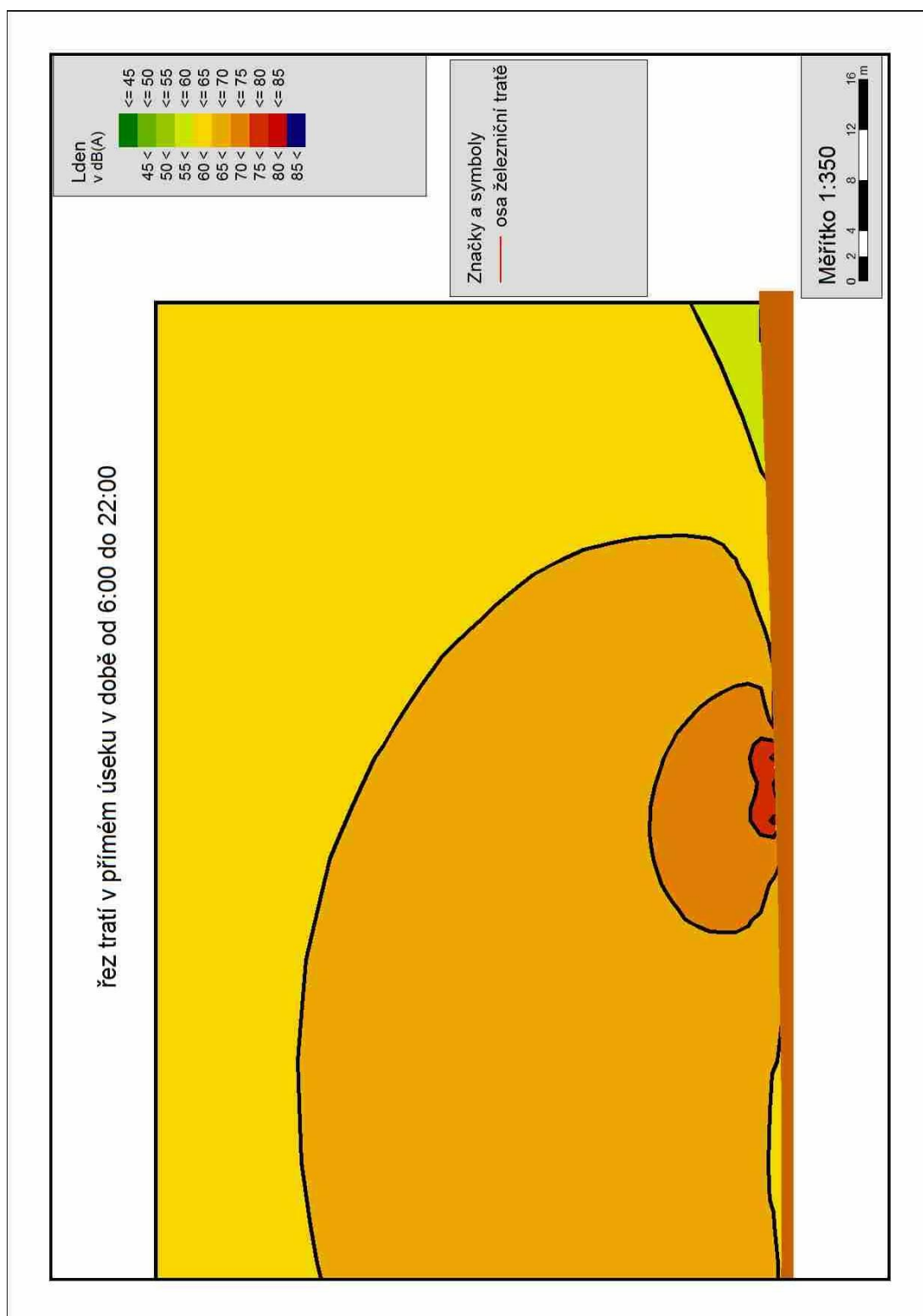
Příloha č. 3 – příčný řez tratí v oblouku v době od 6:00 do 22:00 hodin



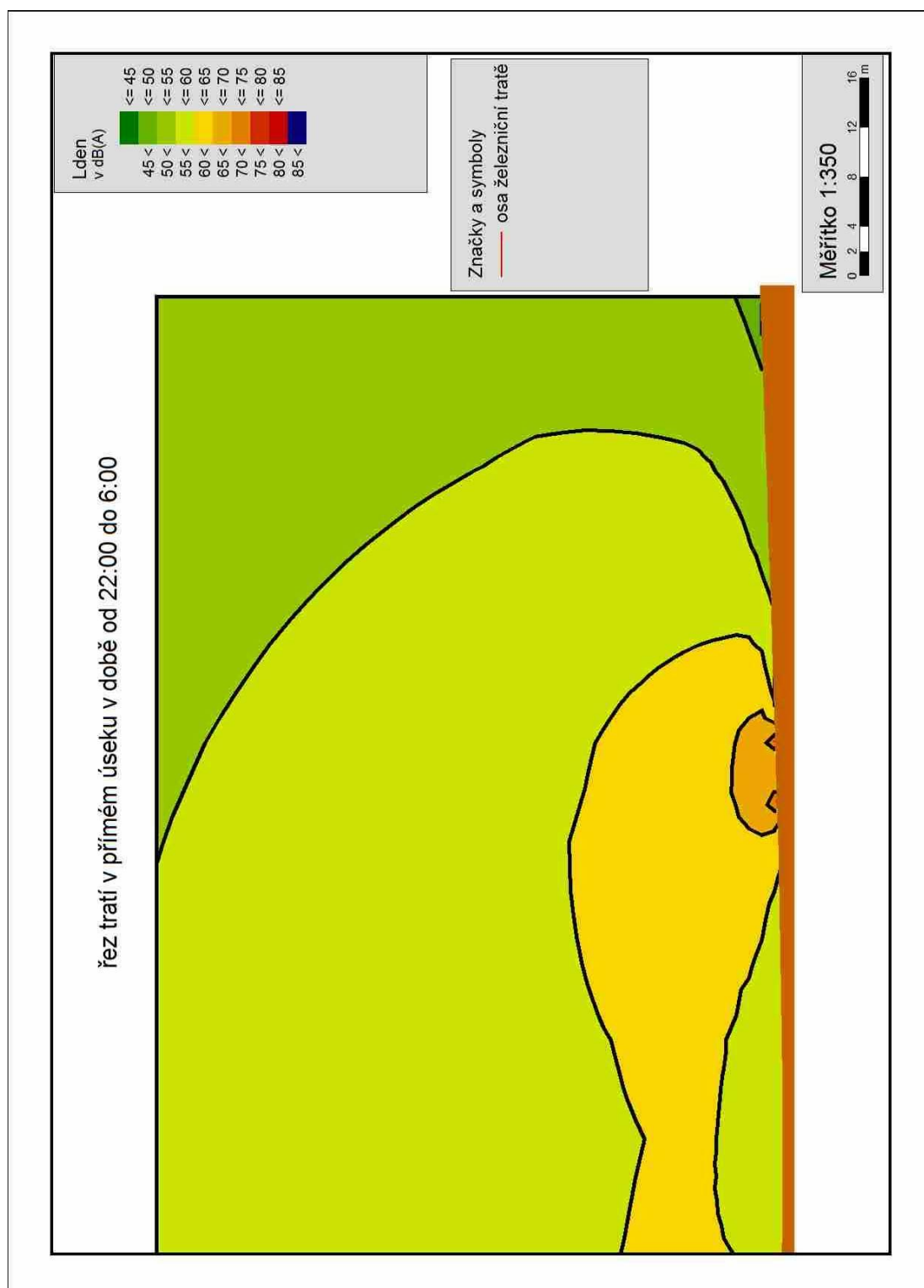
Příloha č. 4 – příčný řez tratí v oblouku v době od 22:00 do 6:00 hodin



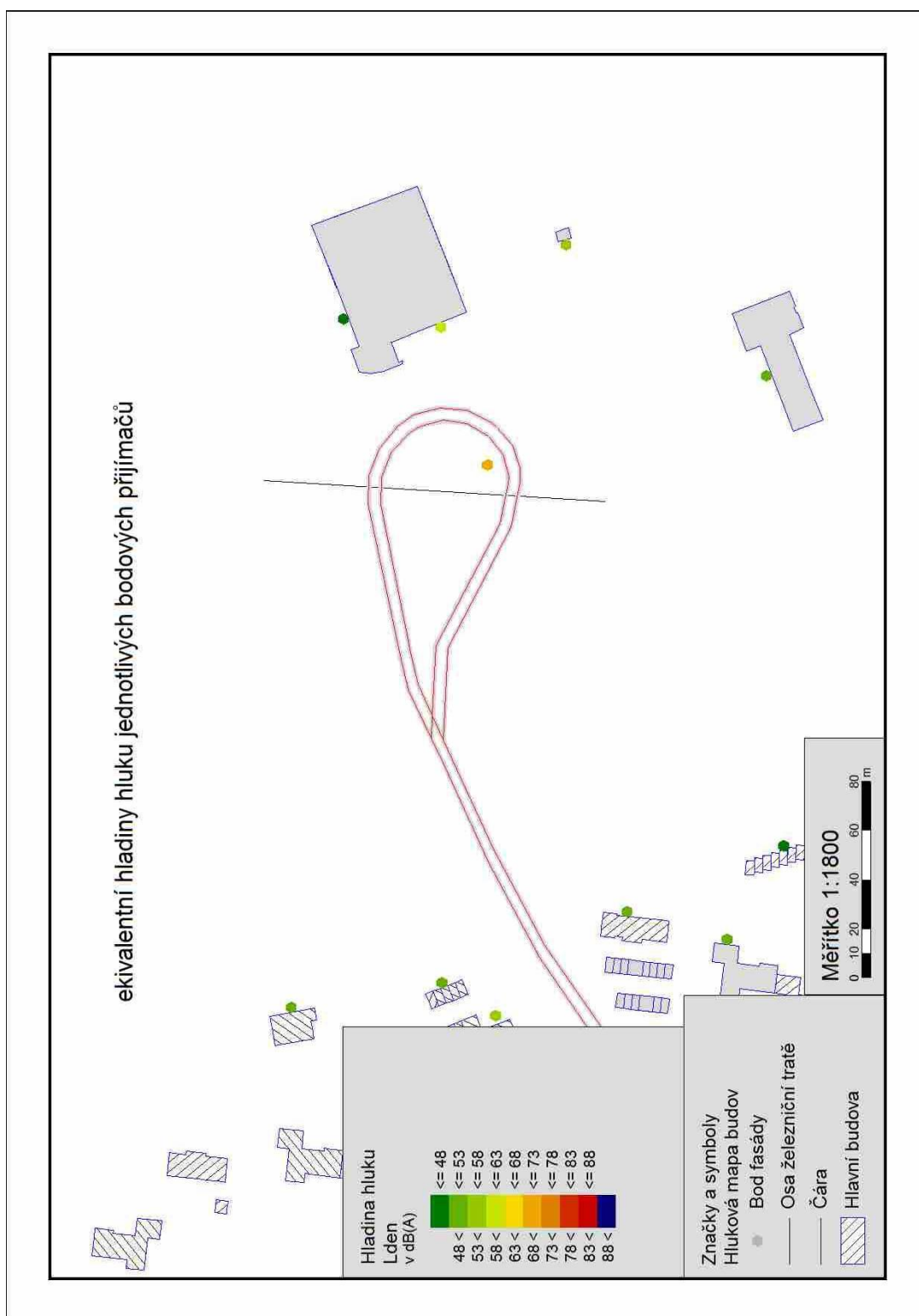
Příloha č. 5 – příčný řez tratí v přímém úseku v době od 6:00 do 22:00 hodin



Příloha č. 6 – příčný řez tratí v přímém úseku v době od 22:00 do 6:00 hodin



Příloha č. 7 – ekvivalentní hladiny hluku jednotlivých bodových přijímačů



Příloha č. 8 – Fotodokumentace lokality



Obr. 8.1: Náhled na měřenou lokalitu



Obr. 8.2: Měřený oblouk



Obr. 8.3: Pohled na měřený oblouk ze stanoviště mikrofonu.



Obr. 8.4: Detail tramvajové tratě v měřeném oblouku



Obr. 8.5: Pohled na blízkou tramvajovou zastávku



Obr 8.6: Měřený přímý úsek



Obr. 8.7: Pohled na přímý úsek ze stanoviště mikrofonu



Obr. 8.8: Detail tramvajové tratě v přímém úsek

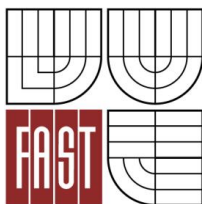
Příloha č. 9 – tabulky skutečných naměřených krátkodobých ekvivalentních hladin hluku

Krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v oblouku

Typ tramvaje	KT8	K2	2xT3	K2	KT8	Škoda 13T	K2	KT8	KT8	KT8	Škoda 13T
Hladina hluku dB (A)	79	85	83	84	84	68	85	84	80	67	70
	KT8	K2	KT8	Škoda 13T	Anitra	KT8	KT8	Škoda 13T	K2	Škoda 13T	Pozadí
	66	84	79	72	76	80	67	70	88	74	57

Krátkodobé ekvivalentní hladiny hluku v přímé

Typ tramvaje	KT8	Škoda 13T	KT8	KT8	KT8	Škoda 13T	KT8	K2	KT8
Hladina hluku dB (A)	66	69	66	67	62	66	66	69	67
	Škoda 13T	KT8	KT8	Škoda 13T	KT8	K2	KT8	Škoda 13T	KT8
	65	68	67	69	70	68	67	65	68
	2xT3	KT8	Škoda 13T	KT8	K2	KT8	Škoda 13T	KT8	Pozadí
	69	65	69	66	69	74	70	69	58



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
Autor práce	Tereza Prokopová
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav železničních konstrukcí a staveb
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Název práce	Analýza kvílivého hluku od tramvajové dopravy a jeho vliv na okolí
Název práce v anglickém jazyce	Squealing noise analysis from the tram transport and its influence on the environs
Typ práce	Bakalářská práce
Přidělovaný titul	Bc.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	PDF
Anotace práce	Bakalářská práce se zabývá problematikou hodnocení účinků hluku od kolejové dopravy. Součástí této práce je rozbor dané problematiky, pořízení dat v lokalitě Starý Lískovec tramvajová smyčka a následná úprava dat a sestavení akustického modelu. Posouzení výsledků provedu sestavením akustické situace v programu SoundPlan. Součástí mé bakalářské práce je formulace závěrů a doporučení pro praxi.

Anotace práce v anglickém jazyce Bachelor's thesis is focused on issues with evaluations of the effects of noises from tram transport. The part of the thesis is analysis of those issues, acquisition of data in locality Starý Lískovec tram loop; follow editing data and compilation of acoustic model. I'll do the assessment results by compilation of acoustic situation in program SoundPlan. Last part of bachelor's thesis is formulation of conclusions and recommendations for practice.

Klíčová slova tramvajová doprava, kvílivý hluk, modelování hluku, SoundPlan, ekvivalentní hladina hluku

Klíčová slova v anglickém jazyce urban railway(streetcar) transport, squealing noise, noise modeling, SoundPlan, equivalent noise level

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 5. 2013

.....

podpis autora
Tereza Prokopová